



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Prensa try - out de 4000 kN en entorno RV

Autor/es

JUAN PALOMINO MONTIEL

Director/es

JOSÉ ANTONIO GÓMEZ CRISTÓBAL

Facultad

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Titulación

Grado en Ingeniería Mecánica

Departamento

INGENIERÍA MECÁNICA

Curso académico

2019-20



Prensa try - out de 4000 kN en entorno RV, de JUAN PALOMINO MONTIEL (publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

CURSO: 2019/2020

CONVOCATORIA: JULIO

TÍTULO:

Prensa try - out de 4000 kN en entorno RV

ESTUDIANTE: Juan Palomino Montiel - 16643061 P

TUTORES/AS: José Antonio Gómez Cristóbal

DEPARTAMENTO: Ingeniería Mecánica

Resumen

El presente documento consiste en el desarrollo de una prensa cuyas limitaciones son una fuerza nominal elevada, un mecanismo de transmisión de potencia mediante excéntrica y una aplicación para testeo de troqueles, además de la normativa vigente.

En primer lugar, se calculará un estudio cinemático y dinámico que permita definir los requerimientos a los que se va a someter a los componentes de la maquinaria. A partir de ahí las tareas desarrolladas se dividen en dos partes fundamentales.

Por un lado, se realizará cálculo y diseño de la cadena cinemática encargada de transmitir potencia. Esta cadena se compone de motor, transmisión por engranajes helicoidales, mecanismo de excéntrica y volante de inercia, además de elementos mecánicos de seguridad como son el freno y el embrague.

Por otro lado, se desarrollará el cálculo y el diseño de los elementos estructurales que soportan la prensa. Esta tarea consistirá básicamente en el diseño mediante un software CAD y el Análisis por Elementos Finitos (FEM) de bastidor, mesa y carro.

Finalmente, el trabajo realizado se ha representado en diversos entornos de realidad virtual mediante un renderizado y aplicaciones de realidad aumentada.

Abstract

The following document consist of the development of a press whose boundaries are a high nominal force, an eccentric transmission mechanism and try - out dies application, besides current regulation.

First of all, a kinematic and dynamic studio is done to define machine components' requirements. From here, there are two main tasks developed.

The kinematic chain will be calculated and designed for power transmission. It consist in an engine, a pair of helicoidal gears, an eccentric mechanism and an inertia flywheel, besides security mechanical components like a brake and a clutch.

On the other hand, the structural support support the press will be calculated and designed. This task consist in the design through CAD software and the Finite Elements Analysis (FEM) of frame, table and wagon.

Agradecimientos

Tras este último trabajo en unas condiciones tan particulares, por fin llega el día en que puedo redactar este apartado para poner punto final a mi trabajo de fin de grado y a estos cuatro intensos años.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia y amigos por haberme acompañado y por haber podido compartir todo este tiempo. Me faltará tiempo en esta vida para agradecer todo lo que habéis tenido que aguantar conmigo.

Tampoco quiero olvidarme de todos los profesores que me han acompañado durante este periodo. Gracias por todo lo enseñado, por habérmelo puesto difícil y por haber tenido tanta paciencia conmigo.

En Logroño, a fecha 6 de julio de 2020.

Firmado:

Juan Palomino Montiel





**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

PRENSA TRY – OUT DE 4000 KN EN ENTORNO RV

ÍNDICE

JUAN PALOMINO MONTIEL

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Grado en Ingeniería Mecánica

6 de julio de 2020

Índice de la memoria

1	Objeto.....	2
2	Alcance	2
3	Antecedentes	2
4	Normas y referencias	2
4.1	Disposiciones legales y normas aplicadas	2
4.1.1	Legislación comunitaria.....	2
4.1.2	Legislación nacional.....	3
4.1.3	Normativa.....	3
4.2	Programas de cálculo	3
4.3	Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto	4
4.4	Bibliografía	4
4.5	Otras referencias.....	4
5	Definiciones y abreviaturas.....	5
6	Requisitos de diseño	6
7	Análisis de soluciones.....	6
7.1	Elección de tipo de prensa	6
7.2	Transmisión de potencia	7
7.3	Soporte estructural.	8
7.4	Renderizado y simulación en entorno RA y RV	10
8	Resultados finales.....	13
9	Planificación	15
10	Orden de prioridad entre los documentos	18

Índice de anexos

1	Anexo 1: Cálculos.	2
1.1	Análisis cinemático y dinámico del mecanismo de biela – manivela.....	2
1.2	Diseño de la transmisión y cálculo de componentes.....	42
1.2.1	Cálculo de transmisión por engranajes	42
1.2.2	Elección del motor.....	52
1.2.3	Cálculo del freno	53
1.2.4	Elección del embrague	55
1.2.5	Cálculo del volante de inercia.	58

1.3	Cálculo de elementos estructurales.....	60
1.3.1	Cálculo del bastidor.....	60
1.3.2	Cálculo de la mesa.....	67
1.3.3	Cálculo del carro.....	70
2	Anexo 2: Plan de prevención de riesgos laborales.....	75

Índice de planos

1	Planos de conjunto.....	2
1.1	Montaje de la prensa	3
1.2	Prensa despiezada.....	4
1.3	Cadena cinemática explosionada.....	5
1.4	Soporte estructural despiezado	6
2	Planos de miembros de la cadena cinemática	7
2.1	Cigüeñal.....	8
2.2	Biela.....	9
2.3	Piñón	10
2.4	Corona	11
2.5	Disco de freno	12
2.6	Pinza de freno.....	13
2.7	Volante de inercia	14
3	Planos de elementos estructurales	15
3.1	Chapa del bastidor	16
3.2	Mesa.....	17
3.3	Carro.....	18
3.4	Cilindro guía del carro	19
3.5	Cilindro guía del carro exterior.....	20
3.6	Pantalla frontal.....	21
3.7	Pantalla trasera	22

Índice del pliego de condiciones

1	Pliego de condiciones generales	2
2	Pliego de especificaciones técnicas.....	3
2.1	Descripción de las obras, productos, instalaciones o servicios.....	3

2.2	Especificaciones de materiales y elementos constitutivos del objeto del Proyecto	3
2.2.1	Materiales	3
2.2.2	Elementos constitutivos	4
2.3	Ejecución de obras, productos, instalaciones o servicios	5
2.4	Reglamentación y normativa aplicable	5
2.5	Aspectos de contrato referidos directamente al Proyecto y que puedan afectar a su Objeto 5	
2.5.1	Aspectos de contrato a tener en cuenta durante la fase de materialización	5
2.5.2	Aspectos de contrato a tener en cuenta durante la fase de funcionamiento.	6

Índice de mediciones

1	Mediciones	1
1.1	Mediciones de la cadena cinemática	1
1.2	Mediciones de los elementos estructurales	2

Índice del presupuesto

1	Presupuesto: conceptos básicos, mano de obra	1
2	Presupuesto: conceptos básicos, materiales	3
3	Cuadro de precios descompuestos por capítulos	5
4	Cuadro de precios nº 1 y 2 por capítulos	9
5	Presupuestos parciales.....	15
6	Resumen del presupuesto.....	18

En Logroño, a fecha 6 de julio de 2020.

Firmado:

Juan Palomino Montiel





**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

PRENSA TRY – OUT DE 4000 KN EN ENTORNO RV

MEMORIA

JUAN PALOMINO MONTIEL

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Grado en Ingeniería Mecánica

6 de julio de 2020

Índice de la memoria

1	Objeto.....	2
2	Alcance	2
3	Antecedentes	2
4	Normas y referencias	2
4.1	Disposiciones legales y normas aplicadas	2
4.1.1	Legislación comunitaria.....	2
4.1.2	Legislación nacional.....	3
4.1.3	Normativa.....	3
4.2	Programas de cálculo	3
4.3	Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto	4
4.4	Bibliografía	4
4.5	Otras referencias.....	4
5	Definiciones y abreviaturas.....	5
6	Requisitos de diseño	6
7	Análisis de soluciones.....	6
7.1	Elección de tipo de prensa	6
7.2	Transmisión de potencia	7
7.3	Soporte estructural.	8
7.4	Renderizado y simulación en entorno RA y RV	10
8	Resultados finales.....	13
9	Planificación	15
10	Orden de prioridad entre los documentos	18

1 Objeto

Tal y como se establece en la adjudicación de los Trabajos de Fin de Grado, el objetivo consiste en proyectar una prensa try – out, para testeo de troqueles, con una fuerza nominal de 4000 kN y un mecanismo de excéntrica.

Entrando en mayor detalle, se pretende completar, al menos, las siguientes tareas:

- Diseño y cálculo de elementos estructurales de la prensa, en concreto bastidor, mesa y carro.
- Diseño y cálculo de la transmisión, así como los elementos mecánicos que se estimen oportunos.
- Visualización en entorno de realidad virtual (RV)

2 Alcance

El ámbito de aplicación del proyecto es la industria, concretamente, el trabajo desarrollado puede resultar útil para troquelerías dado que el tipo de prensa try – out sirve para el muestreo y testeo de troqueles, así como para fabricar preseries de piezas. El tipo de prensa que se va a desarrollar es una prensa excéntrica según su mecanismo de desplazamiento, es decir, que almacenará energía en un volante de inercia, la cual será transmitida al carro por medio de un conjunto biela – cigüeñal. En cuanto al suministro de energía, la prensa utilizará un motor eléctrico convencional. Una prensa excéntrica da posibilidad para que su estructura sea de dos tipos: de pórtico o de cuello de cisne.

En vista del dato inicial de la fuerza nominal de 4000 kN, se desarrollará una prensa de alta potencia, lo cual condicionará las elecciones que se realicen en la fase de diseño de los componentes.

3 Antecedentes

A fecha 22 de octubre de 2019, se firmó el compromiso profesor – alumno para realizar este trabajo estableciendo los datos de partida y una serie de objetivos mínimos a completar. Posteriormente, a fecha 13 de noviembre de 2019, se publicó el listado de asignación de temas de trabajos de fin de estudios, donde comienza el desarrollo del presente trabajo.

4 Normas y referencias

4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

4.1.1 Legislación comunitaria

A nivel europeo, las disposiciones legales encontradas han sido las siguientes:

- Directiva 91/383/CEE del Consejo, de 25 de junio de 1991, por la que se completan las medidas tendentes a promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de los trabajadores con una relación laboral de duración determinada o de empresas de trabajo temporal. (la prensa se diseñará teniendo presente en todo momento la seguridad de los trabajadores que van a manipular la máquina)
- Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición) (Texto pertinente a efectos del EEE) Texto pertinente a efectos del EEE.

ANEXO IV Categorías de máquinas a las que deberá aplicarse uno de los procedimientos contemplados en el artículo 12, apartados 3 y 4. “Prensas, incluidas las plegadoras, para trabajar metales en frío, de carga y/o descarga manual, cuyos elementos móviles de trabajo pueden tener un recorrido superior a 6 mm y una velocidad superior a 30 mm/s.”

4.1.2 Legislación nacional

La legislación española encontrada al respecto ha sido la siguiente:

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. De esta ley, resulta de aplicación todo lo relativo a seguridad y calidad industrial.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

4.1.3 Normativa

Todo el trabajo realizado debe estar basado y soportado por la normativa vigente. Todas las asociaciones mencionadas a continuación han afectado al proyecto en diferentes momentos. De manera general, las instituciones consideradas para la elaboración del proyecto han sido:

- American Gear Manufacturers Association (AGMA)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- Asociación Española de Normalización (UNE)
- Deutsches Institut für Normung (DIN)
- International Organization for Standardization (ISO)

De manera más concreta, la normativa en la que se ha basado este trabajo ha sido la siguiente:

- EN 692:2006+A1:2009. Máquinas-herramienta. Prensas mecánicas.
- UNE-EN ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.
- UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.
- UNE-EN ISO 16092-1:2018. Seguridad de las máquinas herramienta. Prensas. Parte 1: Requisitos generales de seguridad.
- UNE 157001:2014, Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

4.2 Programas de cálculo

Los softwares utilizados han sido los siguientes:

- Ansys 19.1: este software de análisis de elementos finitos (FEM) se ha utilizado para caracterizar las cargas para elementos estructurales como bastidor, mesa o carro.
- Cype 2020.d: se utilizará el programa Arquímedes, programa que tiene integrado cype que puede utilizarse para realizar mediciones, presupuestos y pliegos de condiciones.

- Microsoft Office 365: se han utilizado varios programas de este paquete, como Word para redactar los documentos, Excel para agilizar los cálculos o Microsoft Project para realizar la planificación.
- Solidworks 2019: este software de CAD/CAM/CAE se ha utilizado para completar varios apartados de este proyecto:
 - Diseño de componentes. Cabe puntualizar que algunos componentes, como por ejemplo los engranajes de la transmisión, han sido diseñados a partir de piezas obtenidas de la librería Solidworks Toolbox.
 - Análisis cinemático: se ha utilizado el complemento Solidworks Motion para validar el análisis cinemático realizado del mecanismo biela – manivela.
 - Simulación de piezas: se ha recurrido al módulo Solidworks Simulation para analizar piezas cuya geometría era compleja dado que Ansys no soportaba los diseños CAD de estos componentes.
 - Renderizado y visualización en entorno RV: se utilizarán las extensiones de Solidworks Composer y Solidworks Visualize.

4.3 Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto

Para el control del trabajo durante la realización del proyecto, se han llevado a cabo una serie de revisiones cada vez que se ha finalizado una parte importante del trabajo con el objetivo de que los esfuerzos invertidos sean lo más eficientes posible.

De manera general, se han empleado conceptos que vienen recogidos en la norma ISO 9001:2015 de gestión de la calidad como por ejemplo el ciclo PDCA o ciclo de Deming para completar las distintas etapas en las que se ha dividido el proyecto.

4.4 Bibliografía

El manual de referencia ha sido el Shigley, el resto de bibliografía ha servido de apoyo en momentos puntuales:

- Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.
- Eugene A. Avallone. "Manual del ingeniero mecánica Marks", Editorial Mc. Graw Hill. 9ª edición, año 1995.
- Foment del Treball Nacional, "Guía de seguridad para máquinas: Sector del metal", año 2013. Disponible en:
<https://www.aepsal.com/wp-content/uploads/2016/04/guia-seguridad-maquinas-1-red.pdf>
- Heinrich Gerling. "Alrededor de las máquinas - herramientas", Editorial Reverté. 2ª edición, año 1964.

4.5 Otras referencias

Para la elaboración del trabajo se han consultado de manera puntual algunos documentos similares que pudieran servir de guía para resolver algún problema. Por ejemplo, para el diseño del freno, se consultaron diversos trabajos de fin de carrera que hablasen de este componente para poder conocer cuál era la manera habitual de calcular el componente.

Sin duda, el trabajo que más se ha consultado sin duda es el siguiente:

- Rivas Gaitán, R. (2013) "Prensa excéntrica para 100 T de fuerza" (Trabajo de fin de grado). Universidad de La Rioja, Logroño.

El hecho de que se haya consultado en varias ocasiones este documento es debido a la tremenda similitud con el trabajo presente.

5 Definiciones y abreviaturas

Carrera: recorrido de la excéntrica, se puede definir como la diferencia entre PMI y PMS.

Coeficiente de seguridad (CS, n): número de veces que se mayor una carga, tensión u otra magnitud con el fin de sobredimensionar un resultado para garantizar la seguridad.

Coeficiente elástico (C_D): característico de cada material, depende de parámetros como el módulo de Young y el coeficiente de Poisson.

Factor de ciclos de esfuerzos (Y_N, Z_N): corrigen las tensiones de fatiga en la norma AGMA para un número de ciclos diferente a 10^7 ciclos.

Factor de confiabilidad (K_R): corrige los resultados en función de lo seguro que se quiere que sean los engranajes.

Factor de distribución de carga (K_m): refleja la distribución no uniforme de la carga a lo largo de la línea de contacto.

Factor de espesor de aro (K_B): corrige la falta de espesor para dar soporte a la raíz del diente, pudiendo ocurrir un fallo a flexión.

Factor de relación de la dureza (C_H): factor que corrige las diferencias de dureza que puedan existir entre engranes.

Factor de temperatura (K_T): corrige los resultados frente a temperaturas elevadas.

Factor de seguridad (S_F, S_H): son los factores de seguridad por flexión y contra la falla por picadura de la norma AGMA respectivamente.

Factor de sobrecarga (K_0): factor corrector de la carga en función de la naturaleza de la misma empleado en la normativa AGMA.

Factor dinámico (K_V): factor que corrige la carga dependiendo de la calidad del engrane y de la velocidad.

Factor geométrico de resistencia a flexión (J): recoge la concentración de tensiones debida a la fatiga, la repartición de la carga y la influencia de la forma (mediante el factor de Lewis).

Factor geométrico de resistencia superficial (I): también conocido como factor geométrico de resistencia a la picadura.

Factor de tamaño (K_S): corrige toda falta de uniformidad debida al tamaño.

Modulo: Relación entre la medida del diámetro primitivo en mm y el número de dientes de un engranaje.

Par (M): Momento generado cuando una fuerza no pasa por el centro de rotación del sistema, lo cual produce un giro.

PMI: Punto Muerto Inferior.

PMS: Punto Muerto Superior.

Punto de fuerza: Punto cercano al PMI que establece el cambio en la prensa de ejercer un par constante a ejercer una fuerza constante. Desde el PMS hasta el punto de fuerza se ejerce par constante y desde el punto de fuerza hasta el PMI se ejerce fuerza constante.

6 Requisitos de diseño

En este apartado, se tratará de recoger los datos básicos a partir de los cuales se va a diseñar la prensa, así como los estudios realizados para definir la solución adoptada. Los datos mencionados son los siguientes:

- Fuerza nominal ejercida por la prensa: $F_{\text{nominal}} = 4000 \text{ kN}$
- Mecanismo de accionamiento de excéntrica.
- Prensa mecánica try – out para testeo de troqueles.

A partir de aquí, en primer lugar, se realiza un análisis cinemático para conocer posición, velocidad y aceleración del mecanismo en todo momento y un análisis dinámico para conocer las fuerzas que actúan y que condicionarán el diseño del resto de elementos.

La parte de diseño de componentes se puede dividir en dos tipos de elementos. Por un lado, los elementos encargados de transmitir la potencia generada por el motor: biela, manivela, cigüeñal, engranajes, freno y volante de inercia. Por otro lado, los elementos estructurales, dentro de estos elementos fijos se consideran la mesa, el carro, el bastidor y pantallas. Todos estos elementos se van a basar en el estudio cinemático y dinámico.

7 Análisis de soluciones

7.1 Elección de tipo de prensa

En primer lugar, hay que decir que, por motivos de simplicidad de cálculos, se ha decidido que la prensa sea mecánica y funcione con un mecanismo de excéntrica. Entre las opciones descartadas, pero posibles, quedan prensas hidráulicas o servoprensas.

Lo primero que se ha hecho para el desarrollo del trabajo es un análisis cinemático y dinámico del mecanismo. Con la fuerza nominal como dato de partida, se estableció una proporción entre biela – manivela de 2:1. Se estimó una velocidad angular relativamente baja y una aceleración angular nula, consideraciones lógicas teniendo en cuenta el tipo de prensa y la potencia que se desea transmitir. Por último, el punto de fuerza se colocó en torno a 15 mm del PMI.

Una vez definidos todos los grados de libertad del mecanismo, se han obtenido las gráficas de posición, velocidad y aceleración, así como las gráficas de par y fuerza frente a la posición. Otro dato de gran valor obtenido a partir del estudio dinámico del mecanismo en la posición del punto de fuerza son el par y la fuerza que servirán de referencia para diseñar los componentes de la prensa. Resulta oportuno considerar en este punto una mayoración de la carga, se consigue de esta forma obtener unos datos de partida para el diseño del resto de componentes con un coeficiente de seguridad ya aplicado. Respecto a los coeficientes de seguridad, a falta de información más concreta por parte de la normativa, se usan:

- De 1.25 a 1.5: materiales excepcionalmente confiables, en condiciones controladas, sometidos a cargas determinadas con certeza, donde se pretende reducir peso.
- De 2 a 2.5: materiales promedio, en condiciones comunes, sometidos a cargas que pueden determinarse.

- De 3 a 4: materiales no examinados, o ambientes inciertos, o cargas difícilmente determinables. Debe añadirse un factor de impacto, si procede. Orientativamente, se duplicarán para materiales frágiles.

Una vez se conocen las solicitaciones del mecanismo, se procederá a calcular los elementos de la transmisión de potencia. A la hora de plantear cada uno de los componentes, se ha hecho un ejercicio de considerar qué resulta más oportuno, si fabricar o comprar el elemento en cuestión. Esto se conoce como un *Make or Buy decision*.

7.2 Transmisión de potencia

En primer lugar, se debe contemplar cómo se va a transmitir la energía desde el motor eléctrico hasta el eje del cigüeñal. Las posibilidades contempladas fundamentalmente son dos: transmisión por engranajes o transmisión mediante elementos flexibles.

Los elementos flexibles que se pueden contemplar para una transmisión de potencia son diversos; bandas planas, redondas o en V, bandas de sincronización, cadenas de rodillos o cables metálicos entre otros. Entre alguna de sus ventajas está que permiten transmitir potencias a distancias relativamente grandes y reducen el coste significativamente respecto a otro tipo de transmisiones. Sin embargo, para la aplicación presente se ha descartado su uso debido a que ante grandes cargas sufren grandes pérdidas de potencia por fricción, además de que tienen una vida útil relativamente baja, lo que incrementa el precio de su mantenimiento.

Dentro de la transmisión por engranajes, de primeras una transmisión por engranajes cónicos o por un tornillo sin – fin queda descartado porque complicarían de manera innecesaria el diseño. La cuestión es elegir entre un engrane recto o un engrane helicoidal. Dado que se trata de una aplicación para operar a alta potencia, se ha decidido elegir una transmisión mediante engranajes helicoidales. Los motivos de esta elección han sido varios:

- Permiten lograr una transmisión suave lo cual resulta ventajoso por la baja vibración y el bajo ruido. Esta ventaja se debe en gran parte a que el área de contacto es mayor que en el caso de engranajes rectos, de manera que las tensiones que soporta son menores, se reduce el desgaste y se alarga la vida del engranaje.
- El mejor contacto permite una mayor transmisión de torque y una mayor capacidad de carga.

Por lo tanto, pese a que este tipo de engranajes tiene un coste ligeramente superior, resulta ideal para esta aplicación.

Como elemento de seguridad, se ha decidido incorporar un embrague. Hay que destacar dos condiciones fundamentales que el embrague debe cumplir debido a las exigencias de la normativa vigente:

- Por un lado, que el embrague debe permitir parar el movimiento del mecanismo en cualquier momento de la carrera.
- Por otro lado, exige que cualquier elemento que funcione con algún líquido garantice su funcionamiento en caso de fuga. Por ello, se debe tratar de evitar dispositivos hidráulicos que puedan ser problemáticos ante este aspecto de la normativa o garantizar que dichos componentes funcionan en condiciones adversas.

Una vez actúa el embrague y desacopla la entrada de potencia del mecanismo, se debe incorporar algún tipo de elemento que disipe la energía residual que quede. De manera que se

ha diseñado un freno de disco en base al par que se debe frenar en el punto más crítico, es decir, cuando la prensa está ejerciendo fuerza al final de la carrera. Dado que el espacio no resulta un factor extremadamente limitante, se ha considerado diseñar un freno de disco debido a su mayor eficiencia de frenado. Para mejorar la disipación de calor y la evacuación de gases y suciedad que puedan generarse, se diseñará un freno perforado y rayado.

El último componente considerado en la cadena cinemática es el volante de inercia. Se trata de un elemento de carácter pasivo fundamental en el mecanismo de excéntrica que realiza la función de almacenar energía cinética y aportar una inercia adicional, de manera que cuando cesa el par motor, el volante de inercia continúa su movimiento. El volante se opone a aceleraciones bruscas del sistema, por lo que consigue reducir posibles fluctuaciones de velocidad angular que puedan aparecer y reduce impactos bruscos que puedan generar vibraciones indeseables para el mecanismo.

7.3 Soporte estructural.

Una vez diseñada la transmisión, se debe construir la estructura que soporte la prensa. Esta fase contempla el diseño y ensayo de bastidor, carro y mesa.

El bastidor es una estructura anclada al suelo diseñada fundamentalmente con dos chapas de acero, entre las cuales se apoya el cigüeñal. Ambas chapas tienen un espesor de 15 mm.

La mesa es el componente contra el que va a golpear la prensa y donde se van a colocar los materiales a trabajar. En esencia, está compuesta por una chapa que queda soportada por unas patas que serán perfiles normalizados. La chapa elegida tiene un espesor de 100 mm y unas dimensiones de 2/3 del largo y 2/3 del ancho de la prensa, que resulta una mesa de 1700x1330x100 mm. Los perfiles elegidos han sido tubulares rectangulares ISO 120x80x8.

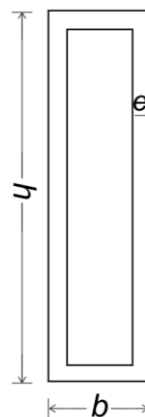


Ilustración 1 Perfil tubular rectangular ISO 120x80x8.

En caso de que sea necesaria una mayor rigidez estructural de la mesa, cabe la posibilidad de triangular el ancho de la mesa e , incluso, la posibilidad de meter 9 patas o de unir las 7 patas que tiene en diagonal. También cabe la posibilidad de hacer una mesa con una chapa de menor espesor, sin embargo, eso supone utilizar un acero especial para herramientas o algún acero aleado especial. Son materiales con un límite elástico altísimo, sin embargo, son materiales poco comunes que supondrían un incremento del precio. Finalmente, la solución obtenida se considera la ideal debido a que guarda el equilibrio entre coste y funcionalidad.

Una posible mejora por incorporar y para tener en cuenta es una mesa con altura regulable. El diseño se ha realizado con una altura de 900 mm, altura estipulada para que los operarios trabajen con comodidad. Sin embargo, esta opción resulta interesante para hacer de la prensa una máquina más versátil que pueda servir para utilizar diversos troqueles.

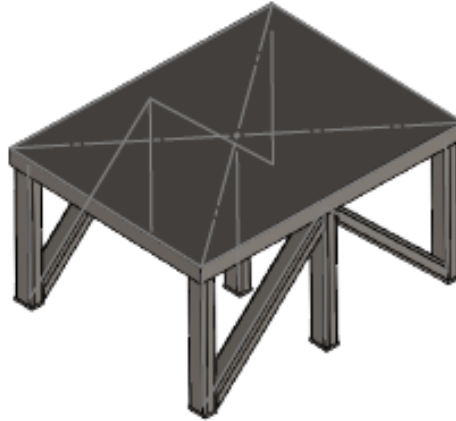


Ilustración 2 Diseño final de la mesa de la prensa.

El carro es punto de unión entre el mecanismo y el soporte estructural. Por un lado, el carro y las bielas están unidos mediante dos bulones. Por otro lado, el carro es el componente que montará la herramienta de matrizado que generalmente será un troquel.

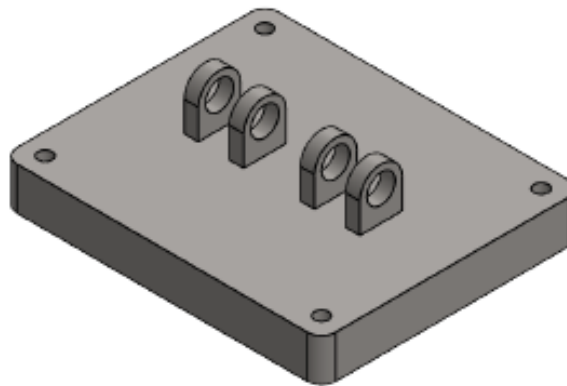


Ilustración 3 Diseño final del carro de la prensa.

Finalmente, se diseñaron unas pantallas de polimetilmetacrilato (PMMA) para terminar la estructura de la prensa y darle una mejor apariencia. Además, estas pantallas representan una última separación entre máquina y operario. La pantalla frontal no soporta cargas estructurales, de manera que con calcular las uniones a las chapas del bastidor quedaría calculado el componente. Por otro lado, la pantalla trasera se utiliza para soportar y anclar el motor. En este caso, las cargas son muy pequeñas y su diseño resulta muy sencillo.

Cabe la posibilidad de hacer una única pantalla que tapara las partes frontal, superior y trasera. La opción técnicamente es posible, sin embargo, de nuevo resulta innecesario y se ha optado por la opción de mayor sencillez posible.

7.4 Renderizado y simulación en entorno RA y RV

Por último, el trabajo tenía el objetivo de representar el proyecto en un entorno de realidad virtual más realista. Una primera opción para esta visualización más realista y estética es el Solidworks Composer y el Solidworks Visualize, donde el software da una amplia gama de opciones para jugar con la transparencia de los componentes, las luces, las animaciones, se pueden agregar un suelo y un entorno al diseño realizado, etc.

Si se dispone de unas gafas que permitan ver realidad virtual, realidad aumentada y entornos 3D, a partir del ensamblaje completo de la prensa se abre la pieza en realidad virtual con eDrawings, una extensión de Solidworks, y se puede interactuar con el ensamblaje. Además, eDrawings genera automáticamente animaciones del ensamblaje y animaciones a partir de las vistas explosionadas que se adjuntan en los planos.

En primer lugar, la representación del trabajo en realidad virtual (RV) se ha realizado mediante la aplicación Trinus, que funcionará a modo de visor. Esta aplicación debe instalarse tanto en el ordenador como en el móvil, teniendo ambos dispositivos conectados a la misma red WiFi y sincronizándolos, se puede ver a través del móvil lo mismo que en la pantalla, pero el móvil actúa como si fuesen las gafas. El funcionamiento realmente es el mismo que el de unas gafas como pueden ser las Google Cardboard con la única diferencia de que se carece de la estructura. Gracias a Trinus, tampoco resulta necesario un puntero, dado que girando el móvil se puede mover el cursor y se puede utilizar un ratón de ayuda.

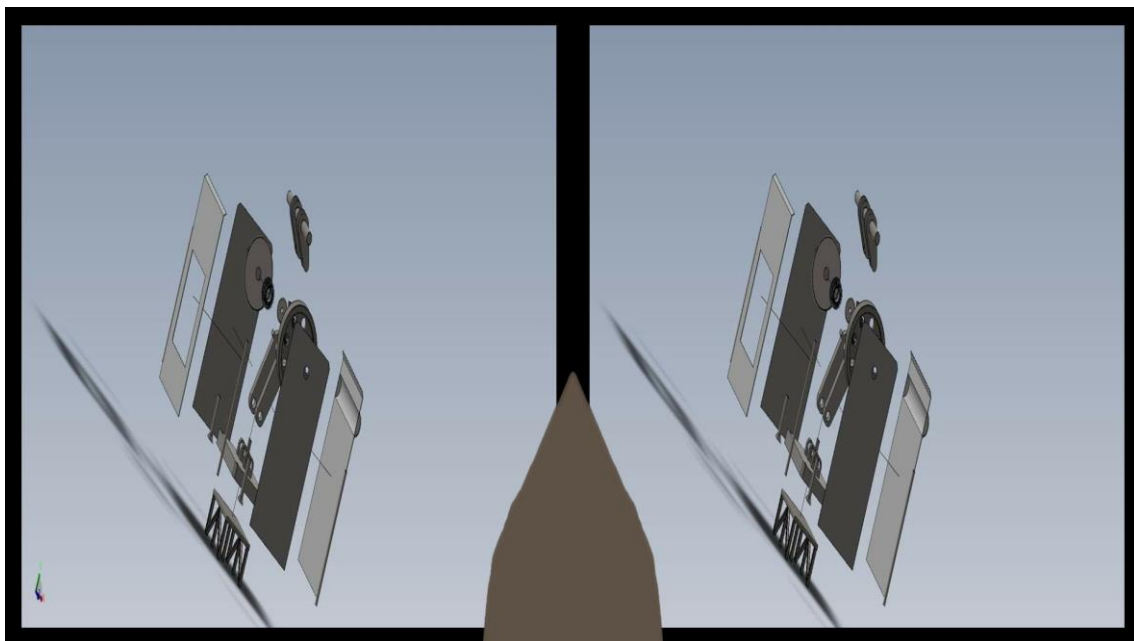


Ilustración 4 Vista desde el teléfono móvil utilizando Trinus.

Otra opción es la realidad aumentada, para la cual no son necesarias las gafas de realidad virtual. A partir de los archivos de extensión .sldprt, se han generado archivos .stl, a partir de estos archivos, se ha generado un código QR y un modelo en 3 dimensiones.

En primer lugar, es necesario transformar los archivos de Solidworks a una extensión que los programas sean capaces de leer. Se ha decidido guardar los archivos como extensión .stl, uno de las extensiones más típicas para este tipo de trabajos. Aquí aparece el primer problema dado que Solidworks no permite guardar los ensamblajes como archivos .stl (archivos de extensión

.sldasm), sino que guarda cada una de las piezas del ensamblaje con esta extensión. De manera que el primer paso consiste en guardar el ensamblaje como una única pieza (conversión a extensión .sldprt) para a continuación guardarlo como archivo .stl.

Una vez se tiene el archivo en la extensión correspondiente, se ha subido a la plataforma Augment generándose el modelo y el código QR que escaneado con un dispositivo Apple iOS, representará el ensamblaje en Realidad Aumentada.

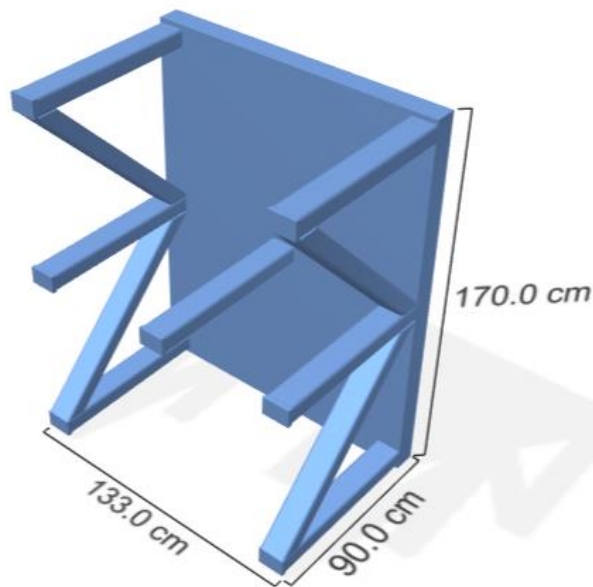


Ilustración 5 Mesa de la prensa representadas en entorno RV.

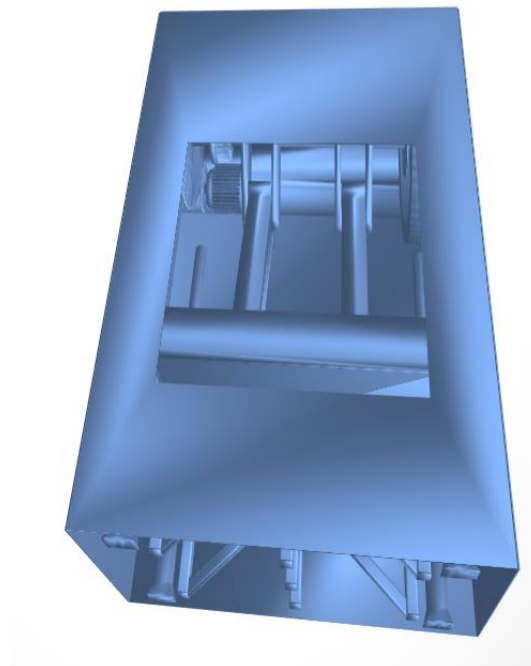


Ilustración 6 Prensa representada en entorno RV.

Vista_360.STL by Juan Palomino

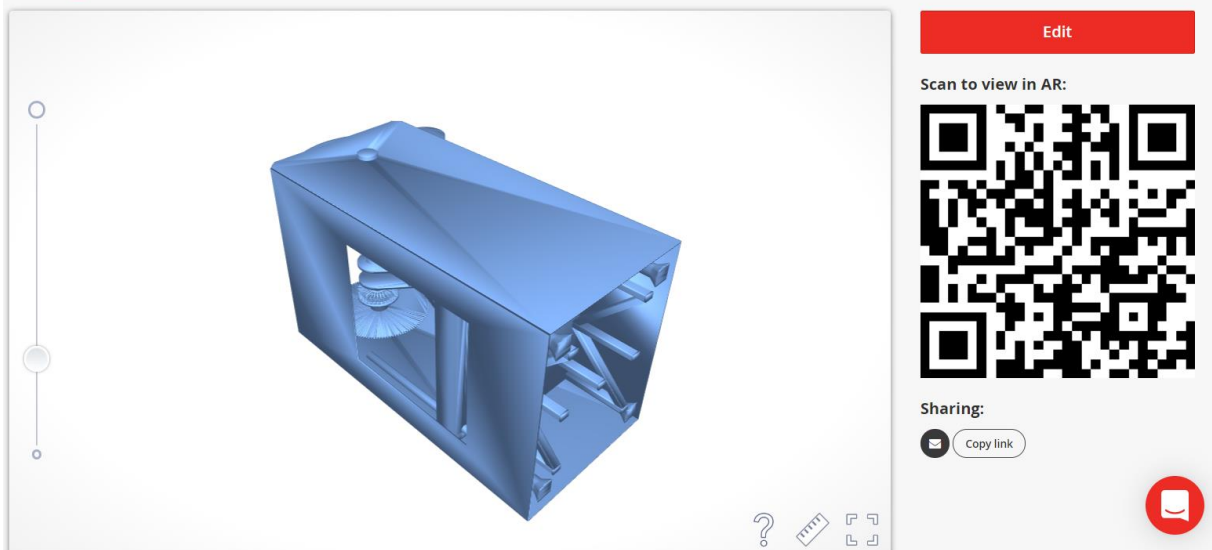


Ilustración 7 Montaje de la prensa en entorno RV junto con el código QR generado.



Ilustración 8 Visualización del cigüeñal en entorno RA.

Por último, para visualizar el proyecto de una forma más realista, se han hecho una serie de renderizados utilizando Solidworks Visualize.



Ilustración 9 Conjunto renderizado con fondo realizado en Solidworks Visualize.

8 Resultados finales

Tal y como se muestra en el *Anexo 1.1. Análisis cinemático y dinámico del mecanismo de biela – manivela* se ha obtenido la localización del punto de fuerza, el valor de la fuerza y el par nominales y las curvas de la fuerza y el par nominales (*Ilustración 11* e *Ilustración 12* del documento *Anexos*) durante la carrera de trabajo.

$$F_{nominal} = 3500000 \text{ kN}$$

$$T_{nominal} = 350889,183 \text{ N m}$$

$$d_{pto \text{ fuerza}} = 14 \text{ mm desde PMI}$$

La cadena cinemática puede observarse en el *Plano 01.03*, donde queda detallado la forma en la que debe ser montada. Por otro lado, en el *Plano 01.04* se puede observar como va ensamblado el soporte estructural.

Finalmente, se obtiene un conjunto ensamblado donde se combinan la cadena cinemática, encargada de ejercer la fuerza nominal para realizar el testeo de los troqueles, con el soporte

estructural que es capaz de aguantar las solicitaciones y transmitir la potencia requerida. Para mostrar este montaje final, se pueden consultar el *Plano 01.01* y el *Plano 01.02*.

Para finalizar el trabajo, se ha exportado el ensamblaje para permitir su visualización en entornos de realidad virtual y aumentada y para realizar un renderizado.

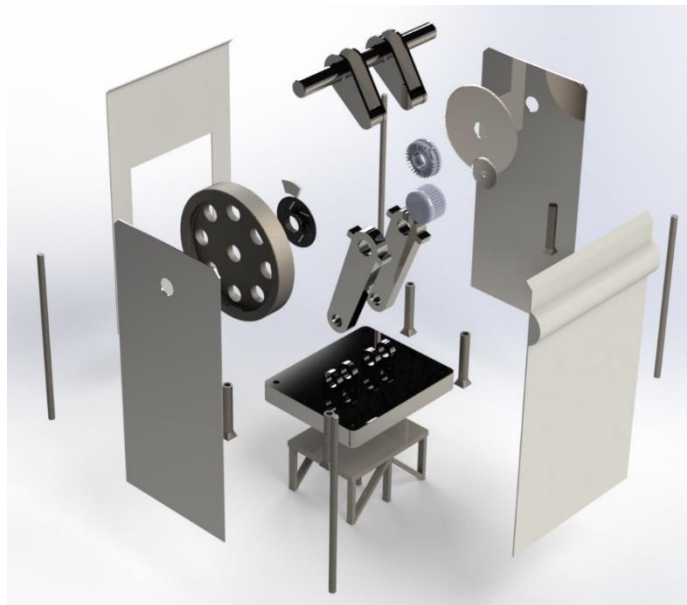


Ilustración 10 Conjunto explosionado y renderizado realizado en Solidworks Visualize.



Ilustración 11 Vista renderizada con cámara 3D en entorno RV realizada en Solidworks Visualize.

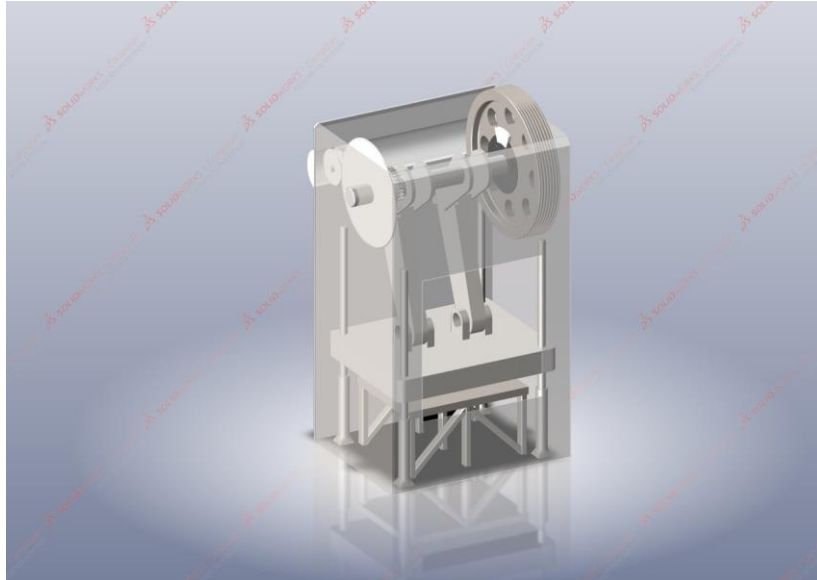


Ilustración 12 Conjunto de la prensa en Solidworks Composer.

9 Planificación

La fecha inicial del proyecto se corresponde con la fecha de adjudicación de los Trabajos de Fin de Grado. A partir de ahí, la primera actividad consiste en la búsqueda de bibliografía que pueda resultar útil, normativa y legislación vigente aplicable. En lo restante del primer cuatrimestre, se realizará un estudio de la cinemática y las fuerzas del mecanismo de excéntrica de la prensa a partir del cual se puedan obtener datos a partir de los cuales comenzar a diseñar todos los componentes objetivo de este trabajo.

Una vez se tienen los datos, se comienza calculando todos los elementos de la cadena cinemática a través de la cual se transmite potencia. Una vez se terminan estos componentes, se pasa a diseñar los elementos estructurales. A lo largo de todo este tiempo se van redactando de manera simultánea todos los anexos de cálculos que forman parte del proyecto. Aquí se realizará la primera gran revisión del trabajo hecho hasta el momento. Se considera un momento ideal debido a que ya se ha realizado buena parte del proyecto y, si se da el visto bueno, lo que queda es la redacción formal del proyecto y adaptar lo que se tiene al formato de la norma.

Tras la revisión, se diseñan las piezas en Solidworks y se realizan los planos de estas, el pliego de condiciones, las mediciones y los presupuestos. Por último, intentará realizar la simulación en un entorno de realidad virtual, aunque debido a la crisis sanitaria del COVID – 19 puede verse afectada. El proyecto estaría terminado a falta de una nueva revisión para corregir los posibles fallos. Tras el depósito del trabajo, se prepara la presentación para la exposición, finalizando el proyecto el día de la exposición.

	i	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1			Elección del tema de trabajo	1 sem	mié 13/11/19	mar 19/11/19	
2			Búsqueda de bibliografía	4 sem.	mié 04/12/19	mar 31/12/19	1FC+2 sem.
3			Análisis cinemático y dinámico	4 sem.	mié 01/01/20	mar 28/01/20	2
4			Comprobación de análisis en Solidworks	2 sem.	mié 29/01/20	mar 11/02/20	3
5			Diseño de la transmisión	0 días	mar 11/02/20	mar 11/02/20	4
6			Cálculo de engranajes	3 sem.	mié 12/02/20	mar 03/03/20	4
14			Redacción de anexos	10 sem.	mié 12/02/20	mar 21/04/20	4
8			Cálculo de volante de inercia	3 sem.	mié 04/03/20	mar 24/03/20	6
7			Cálculo de freno	1 sem	mié 11/03/20	mar 17/03/20	6FC+1 sem
9			Elección de embrague	2 sem.	mié 18/03/20	mar 31/03/20	7
10			Diseño de elementos estructurales	0 días	mar 31/03/20	mar 31/03/20	9
11			Diseño de bastidor	3 sem.	mié 01/04/20	mar 21/04/20	9
12			Diseño de mesa	1 sem	mié 01/04/20	mar 07/04/20	9
13			Diseño de carro	1 sem	mié 08/04/20	mar 14/04/20	12
15			Revisión del trabajo	1 sem	mié 22/04/20	mar 28/04/20	14
16			Diseño de piezas en Solidworks	4 sem.	mié 22/04/20	mar 19/05/20	14
17			Realización de planos	3 sem.	mié 20/05/20	mar 09/06/20	16
18			Redacción de pliego de condiciones	1 sem	mié 10/06/20	mar 16/06/20	17
19			Redacción de mediciones	1 sem	mié 10/06/20	mar 16/06/20	17
20			Redacción de presupuesto	1 sem	mié 10/06/20	mar 16/06/20	17
21			Simulación en entorno RV	2 sem.	mié 17/06/20	mar 30/06/20	20
22			Redacción de memoria	1 sem	mié 17/06/20	mar 23/06/20	20
23			Revisión final	1 sem	mié 17/06/20	mar 23/06/20	20
24			Depósito del trabajo	2 sem.	mié 24/06/20	mar 07/07/20	23
25			Preparación de la presentación	1 sem	mié 08/07/20	mar 14/07/20	24
26			Exposición del trabajo	0 días	mar 14/07/20	mar 14/07/20	25

Ilustración 13 Planificación inicial para la ejecución del proyecto.

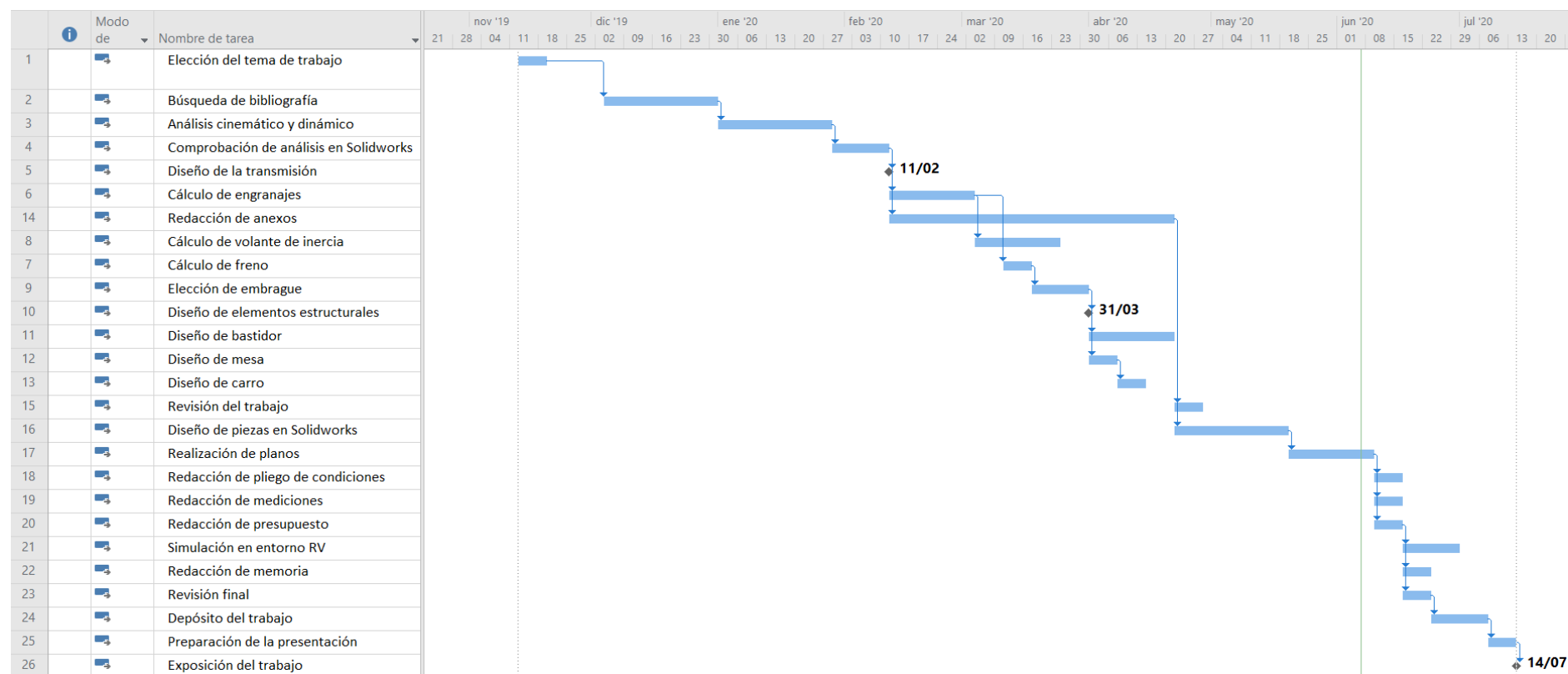


Ilustración 14 Diagrama de Gantt del proyecto.

10 Orden de prioridad entre los documentos

El orden de prioridad que establece por defecto la norma UNE 157001:2014 se considera apropiado para este caso, siendo este orden el siguiente:

1. Planos.
2. Pliego de condiciones.
3. Presupuesto.
4. Memoria.

En Logroño, a fecha 6 de julio de 2020.

Firmado:

Juan Palomino Montiel





**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

PRENSA TRY – OUT DE 4000 KN EN ENTORNO RV

ANEXOS

JUAN PALOMINO MONTIEL

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Grado en Ingeniería Mecánica

6 de julio de 2020

Índice de anexos

1	Anexo 1: Cálculos.	2
1.1	Análisis cinemático y dinámico del mecanismo de biela – manivela.....	2
1.2	Diseño de la transmisión y cálculo de componentes.	42
1.2.1	Cálculo de transmisión por engranajes.....	42
1.2.2	Elección del motor.....	52
1.2.3	Cálculo del freno	53
1.2.4	Elección del embrague	55
1.2.5	Cálculo del volante de inercia.	58
1.3	Cálculo de elementos estructurales.....	62
1.3.1	Cálculo del bastidor.....	62
1.3.2	Cálculo de la mesa.....	69
1.3.3	Cálculo del carro.....	72
2	Anexo 2: Plan de prevención de riesgos laborales.....	77

1 Anexo 1: Cálculos.

1.1 Análisis cinemático y dinámico del mecanismo de biela – manivela.

Tal y como se indica en la memoria, la relación considerada para la biela y la manivela es de 2:1. Los datos se han elegido teniendo en cuenta el condicionante de que se trata de una prensa mecánica excéntrica de gran potencia, por lo tanto, las velocidades en las que se va a mover el mecanismo son relativamente bajas. Otra decisión importante ha sido la de introducir dos bielas en el cigüeñal, cada biela ejercerá la parte proporcional de la carga.

En cuanto al procedimiento de cálculo, al tratarse de un mecanismo sencillo se ha propuesto su resolución mediante el método de las ecuaciones de cierre. Dicho método consiste en un plantear un modelo matemático del mecanismo, que forma un circuito cerrado y donde el polígono constituido por los vectores diferencia de posición que pasan por los pares cinemáticos y los eslabones sucesivos debe mantenerse cerrado cuando el mecanismo se mueve. A partir de este modelo se determinan las posiciones, para obtener las velocidades se derivará con respecto del tiempo y para obtener las aceleraciones se volverá a derivar una segunda vez.

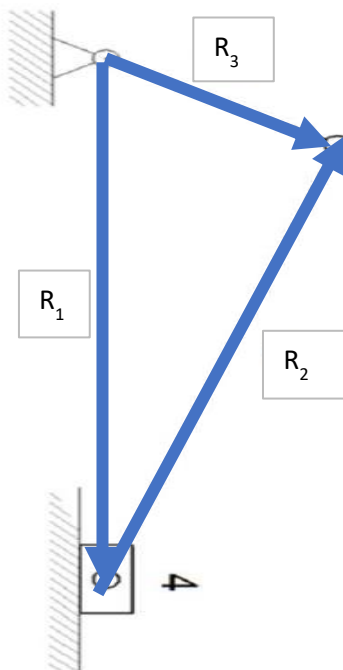


Ilustración 1 Modelo planteado para el método de las ecuaciones de cierre.

Una vez planteado el modelo, se pueden conocer las ecuaciones de posición, velocidad y aceleración:

$$R_1 e^{i\theta_1} + R_2 e^{i\theta_2} = R_3 e^{i\theta_3}$$

$$R'_1 e^{i\theta_1} + \omega_2 e^{i(\theta_2+90)} = R_3 \omega_3 e^{i\theta_3}$$

$$R''_1 e^{i\theta_1} + R_2 \alpha_2 e^{i(\theta_2+90)} = -R_3 \omega_3^2 e^{i\theta_3} + R_2 \omega_2^2 e^{i\theta_2}$$

Los datos utilizados han sido los siguientes:

DATOS

θ_1	0	°
R_2	1,5	m
R_3	0,75	m
ω_3	25	rad/s
α_3	0	rad/s ²
nº BIELAS	2	
F nominal	4000000	N

Una vez elegido los parámetros que mejor encajen con una prensa de estas características y recogidos todos los datos, se calculan 360 posiciones, 1 cada grado, y se grafican las soluciones. Una primera comprobación será la obtención de gráficas sin picos, dado que una característica de la solución es que debe ser continua. Por si fuera poco, se ha empleado el módulo Solidworks Motion para simular el mecanismo y comparar resultados. Se han obtenido las siguientes gráficas en Excel y en Solidworks:

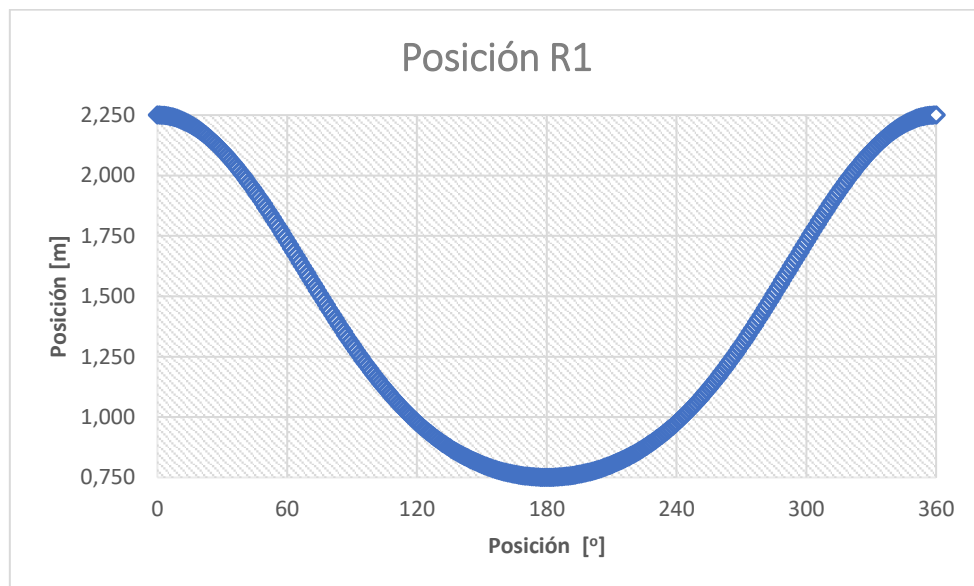


Ilustración 2 Gráfica de posición extraída de Excel.

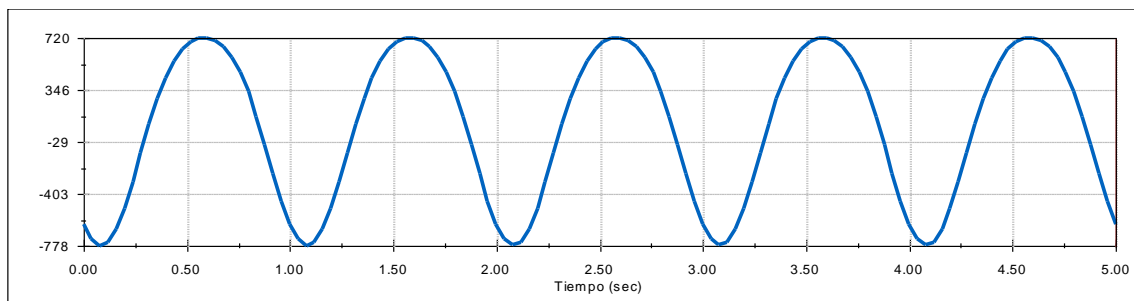


Ilustración 3 Gráfica de posición obtenida con Solidworks Motion.

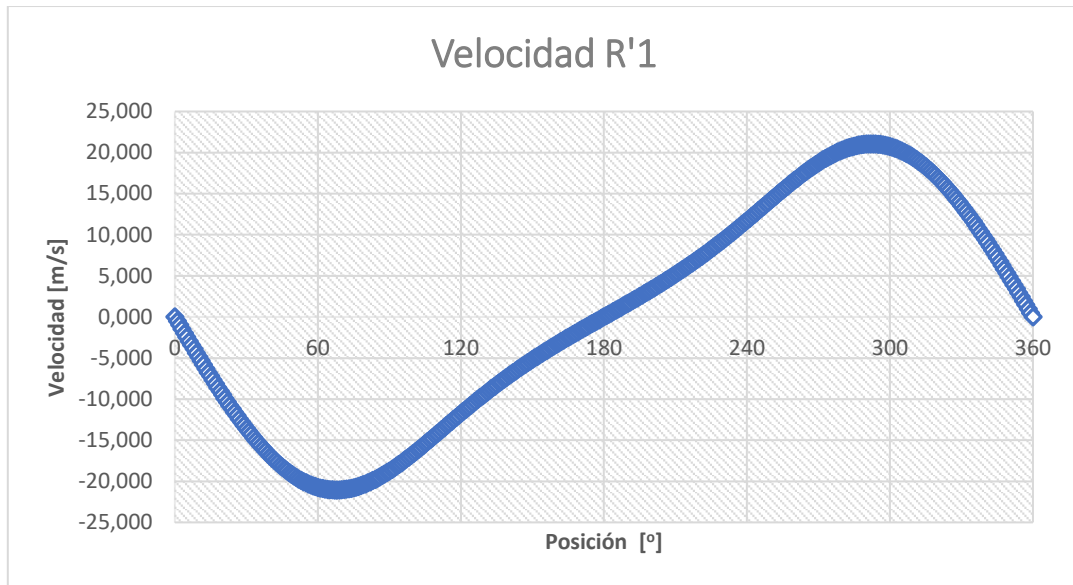


Ilustración 4 Gráfica de velocidad extraída de Excel

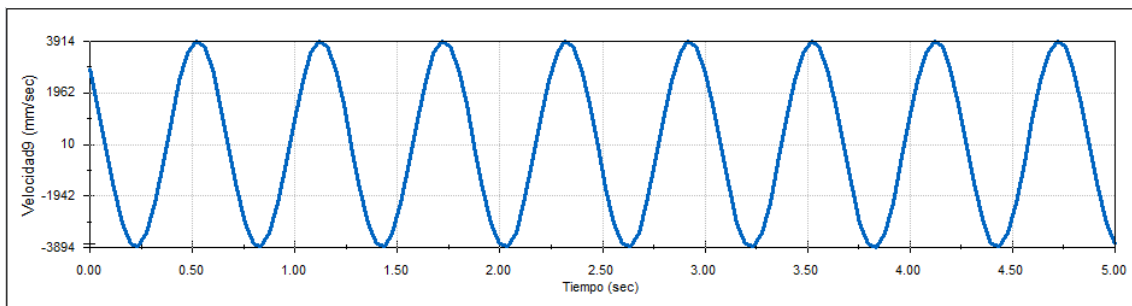


Ilustración 5 Gráfica de velocidades obtenida con Solidworks Motion.

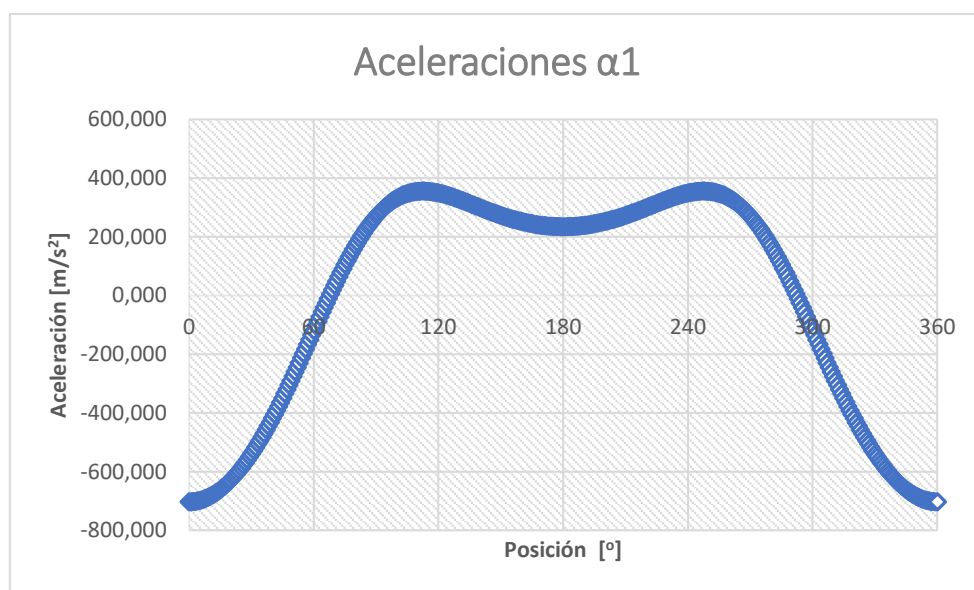


Ilustración 6 Gráfica de aceleración extraída de Excel

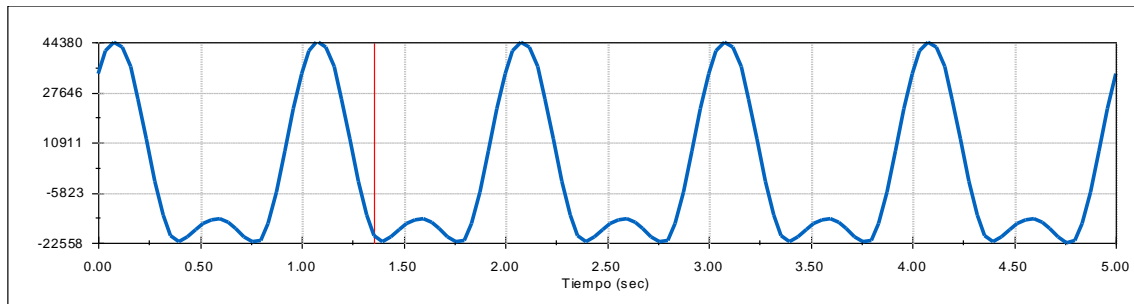


Ilustración 7 Gráfica de aceleración obtenida con Solidworks Motion.

Se puede observar como las formas son idénticas, que es el objeto de la comprobación. Los valores obtenidos en los ejes no coinciden, lo cual es debido a que Solidworks para esta extensión ubica el centro de referencia de manera predeterminada.

POSICIONES

Primera ecuación, caso 2b

$$R_1 e^{i\theta_1} + R_2 e^{i\theta_2} = R_3 e^{i\theta_3}$$

R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C
R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3

Posición

0	2,250	0,000	1,500	180,000	0,750	0,000
1	2,250	0,000	1,500	179,500	0,750	1,000
2	2,249	0,000	1,500	179,000	0,750	2,000
3	2,248	0,000	1,500	178,501	0,750	3,000
4	2,247	0,000	1,500	178,001	0,750	4,000
5	2,246	0,000	1,500	177,502	0,750	5,000
6	2,244	0,000	1,500	177,004	0,750	6,000
7	2,242	0,000	1,500	176,507	0,750	7,000
8	2,239	0,000	1,500	176,010	0,750	8,000
9	2,236	0,000	1,500	175,514	0,750	9,000
10	2,233	0,000	1,500	175,019	0,750	10,000
11	2,229	0,000	1,500	174,525	0,750	11,000
12	2,225	0,000	1,500	174,033	0,750	12,000
13	2,221	0,000	1,500	173,542	0,750	13,000
14	2,217	0,000	1,500	173,052	0,750	14,000
15	2,212	0,000	1,500	172,565	0,750	15,000
16	2,207	0,000	1,500	172,078	0,750	16,000
17	2,201	0,000	1,500	171,594	0,750	17,000

VELOCIDADES

Primera ecuación

$$R'_1 e^{i\theta_1} + \omega_2 e^{i(\theta_2+90)} = R_3 \omega_3 e^{i(\theta_3+90)}$$

R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90

0,000	0,000	-12,500	270,000	18,750	90,000
-0,491	0,000	-12,499	269,500	18,750	91,000
-0,981	0,000	-12,494	269,000	18,750	92,000
-1,471	0,000	-12,487	268,501	18,750	93,000
-1,961	0,000	-12,477	268,001	18,750	94,000
-2,449	0,000	-12,464	267,502	18,750	95,000
-2,936	0,000	-12,449	267,004	18,750	96,000
-3,421	0,000	-12,430	266,507	18,750	97,000
-3,905	0,000	-12,408	266,010	18,750	98,000
-4,386	0,000	-12,384	265,514	18,750	99,000
-4,865	0,000	-12,357	265,019	18,750	100,000
-5,342	0,000	-12,327	264,525	18,750	101,000
-5,815	0,000	-12,293	264,033	18,750	102,000
-6,286	0,000	-12,257	263,542	18,750	103,000
-6,753	0,000	-12,218	263,052	18,750	104,000
-7,216	0,000	-12,176	262,565	18,750	105,000
-7,676	0,000	-12,132	262,078	18,750	106,000
-8,132	0,000	-12,084	261,594	18,750	107,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
18	2,195	0,000	1,500	171,112	0,750	18,000		-8,583	0,000	-12,033	261,112	18,750	108,000
19	2,189	0,000	1,500	170,631	0,750	19,000		-9,029	0,000	-11,979	260,631	18,750	109,000
20	2,183	0,000	1,500	170,153	0,750	20,000		-9,471	0,000	-11,922	260,153	18,750	110,000
21	2,176	0,000	1,500	169,678	0,750	21,000		-9,908	0,000	-11,862	259,678	18,750	111,000
22	2,169	0,000	1,500	169,205	0,750	22,000		-10,339	0,000	-11,799	259,205	18,750	112,000
23	2,161	0,000	1,500	168,734	0,750	23,000		-10,764	0,000	-11,732	258,734	18,750	113,000
24	2,154	0,000	1,500	168,266	0,750	24,000		-11,184	0,000	-11,663	258,266	18,750	114,000
25	2,146	0,000	1,500	167,801	0,750	25,000		-11,598	0,000	-11,591	257,801	18,750	115,000
26	2,138	0,000	1,500	167,339	0,750	26,000		-12,005	0,000	-11,515	257,339	18,750	116,000
27	2,129	0,000	1,500	166,880	0,750	27,000		-12,406	0,000	-11,436	256,880	18,750	117,000
28	2,120	0,000	1,500	166,424	0,750	28,000		-12,800	0,000	-11,354	256,424	18,750	118,000
29	2,111	0,000	1,500	165,971	0,750	29,000		-13,188	0,000	-11,269	255,971	18,750	119,000
30	2,102	0,000	1,500	165,522	0,750	30,000		-13,568	0,000	-11,180	255,522	18,750	120,000
31	2,092	0,000	1,500	165,077	0,750	31,000		-13,940	0,000	-11,089	255,077	18,750	121,000
32	2,082	0,000	1,500	164,635	0,750	32,000		-14,305	0,000	-10,994	254,635	18,750	122,000
33	2,072	0,000	1,500	164,198	0,750	33,000		-14,662	0,000	-10,895	254,198	18,750	123,000
34	2,062	0,000	1,500	163,764	0,750	34,000		-15,012	0,000	-10,793	253,764	18,750	124,000
35	2,051	0,000	1,500	163,334	0,750	35,000		-15,353	0,000	-10,688	253,334	18,750	125,000
36	2,041	0,000	1,500	162,909	0,750	36,000		-15,685	0,000	-10,580	252,909	18,750	126,000
37	2,029	0,000	1,500	162,488	0,750	37,000		-16,009	0,000	-10,468	252,488	18,750	127,000
38	2,018	0,000	1,500	162,071	0,750	38,000		-16,324	0,000	-10,353	252,071	18,750	128,000
39	2,007	0,000	1,500	161,660	0,750	39,000		-16,630	0,000	-10,234	251,660	18,750	129,000
40	1,995	0,000	1,500	161,253	0,750	40,000		-16,927	0,000	-10,112	251,253	18,750	130,000
41	1,983	0,000	1,500	160,851	0,750	41,000		-17,215	0,000	-9,986	250,851	18,750	131,000
42	1,971	0,000	1,500	160,454	0,750	42,000		-17,493	0,000	-9,857	250,454	18,750	132,000
43	1,959	0,000	1,500	160,062	0,750	43,000		-17,762	0,000	-9,725	250,062	18,750	133,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
44	1,946	0,000	1,500	159,676	0,750	44,000		-18,021	0,000	-9,589	249,676	18,750	134,000
45	1,933	0,000	1,500	159,295	0,750	45,000		-18,269	0,000	-9,449	249,295	18,750	135,000
46	1,921	0,000	1,500	158,920	0,750	46,000		-18,508	0,000	-9,306	248,920	18,750	136,000
47	1,908	0,000	1,500	158,551	0,750	47,000		-18,737	0,000	-9,159	248,551	18,750	137,000
48	1,894	0,000	1,500	158,187	0,750	48,000		-18,955	0,000	-9,009	248,187	18,750	138,000
49	1,881	0,000	1,500	157,830	0,750	49,000		-19,163	0,000	-8,855	247,830	18,750	139,000
50	1,868	0,000	1,500	157,479	0,750	50,000		-19,361	0,000	-8,698	247,479	18,750	140,000
51	1,854	0,000	1,500	157,134	0,750	51,000		-19,548	0,000	-8,537	247,134	18,750	141,000
52	1,840	0,000	1,500	156,796	0,750	52,000		-19,724	0,000	-8,373	246,796	18,750	142,000
53	1,827	0,000	1,500	156,464	0,750	53,000		-19,889	0,000	-8,205	246,464	18,750	143,000
54	1,813	0,000	1,500	156,140	0,750	54,000		-20,044	0,000	-8,034	246,140	18,750	144,000
55	1,799	0,000	1,500	155,822	0,750	55,000		-20,187	0,000	-7,859	245,822	18,750	145,000
56	1,784	0,000	1,500	155,511	0,750	56,000		-20,320	0,000	-7,681	245,511	18,750	146,000
57	1,770	0,000	1,500	155,207	0,750	57,000		-20,442	0,000	-7,499	245,207	18,750	147,000
58	1,756	0,000	1,500	154,911	0,750	58,000		-20,553	0,000	-7,314	244,911	18,750	148,000
59	1,742	0,000	1,500	154,622	0,750	59,000		-20,653	0,000	-7,126	244,622	18,750	149,000
60	1,727	0,000	1,500	154,341	0,750	60,000		-20,742	0,000	-6,934	244,341	18,750	150,000
61	1,713	0,000	1,500	154,068	0,750	61,000		-20,819	0,000	-6,739	244,068	18,750	151,000
62	1,698	0,000	1,500	153,802	0,750	62,000		-20,886	0,000	-6,540	243,802	18,750	152,000
63	1,683	0,000	1,500	153,544	0,750	63,000		-20,942	0,000	-6,339	243,544	18,750	153,000
64	1,669	0,000	1,500	153,295	0,750	64,000		-20,987	0,000	-6,134	243,295	18,750	154,000
65	1,654	0,000	1,500	153,054	0,750	65,000		-21,021	0,000	-5,926	243,054	18,750	155,000
66	1,639	0,000	1,500	152,821	0,750	66,000		-21,045	0,000	-5,715	242,821	18,750	156,000
67	1,625	0,000	1,500	152,597	0,750	67,000		-21,058	0,000	-5,501	242,597	18,750	157,000
68	1,610	0,000	1,500	152,381	0,750	68,000		-21,060	0,000	-5,285	242,381	18,750	158,000
69	1,595	0,000	1,500	152,174	0,750	69,000		-21,051	0,000	-5,065	242,174	18,750	159,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
70	1,581	0,000	1,500	151,976	0,750	70,000		-21,033	0,000	-4,843	241,976	18,750	160,000
71	1,566	0,000	1,500	151,786	0,750	71,000		-21,003	0,000	-4,618	241,786	18,750	161,000
72	1,551	0,000	1,500	151,606	0,750	72,000		-20,964	0,000	-4,391	241,606	18,750	162,000
73	1,537	0,000	1,500	151,435	0,750	73,000		-20,915	0,000	-4,161	241,435	18,750	163,000
74	1,522	0,000	1,500	151,273	0,750	74,000		-20,856	0,000	-3,929	241,273	18,750	164,000
75	1,508	0,000	1,500	151,121	0,750	75,000		-20,788	0,000	-3,695	241,121	18,750	165,000
76	1,493	0,000	1,500	150,978	0,750	76,000		-20,710	0,000	-3,458	240,978	18,750	166,000
77	1,479	0,000	1,500	150,844	0,750	77,000		-20,622	0,000	-3,220	240,844	18,750	167,000
78	1,464	0,000	1,500	150,720	0,750	78,000		-20,526	0,000	-2,980	240,720	18,750	168,000
79	1,450	0,000	1,500	150,606	0,750	79,000		-20,421	0,000	-2,738	240,606	18,750	169,000
80	1,436	0,000	1,500	150,501	0,750	80,000		-20,307	0,000	-2,494	240,501	18,750	170,000
81	1,422	0,000	1,500	150,406	0,750	81,000		-20,185	0,000	-2,249	240,406	18,750	171,000
82	1,408	0,000	1,500	150,321	0,750	82,000		-20,055	0,000	-2,002	240,321	18,750	172,000
83	1,394	0,000	1,500	150,246	0,750	83,000		-19,916	0,000	-1,755	240,246	18,750	173,000
84	1,380	0,000	1,500	150,181	0,750	84,000		-19,771	0,000	-1,506	240,181	18,750	174,000
85	1,366	0,000	1,500	150,126	0,750	85,000		-19,617	0,000	-1,256	240,126	18,750	175,000
86	1,352	0,000	1,500	150,081	0,750	86,000		-19,457	0,000	-1,006	240,081	18,750	176,000
87	1,339	0,000	1,500	150,045	0,750	87,000		-19,290	0,000	-0,755	240,045	18,750	177,000
88	1,325	0,000	1,500	150,020	0,750	88,000		-19,116	0,000	-0,504	240,020	18,750	178,000
89	1,312	0,000	1,500	150,005	0,750	89,000		-18,936	0,000	-0,252	240,005	18,750	179,000
90	1,299	0,000	1,500	150,000	0,750	90,000		-18,750	0,000	0,000	240,000	18,750	180,000
91	1,286	0,000	1,500	150,005	0,750	91,000		-18,558	0,000	0,252	240,005	18,750	181,000
92	1,273	0,000	1,500	150,020	0,750	92,000		-18,361	0,000	0,504	240,020	18,750	182,000
93	1,260	0,000	1,500	150,045	0,750	93,000		-18,159	0,000	0,755	240,045	18,750	183,000
94	1,248	0,000	1,500	150,081	0,750	94,000		-17,952	0,000	1,006	240,081	18,750	184,000
95	1,235	0,000	1,500	150,126	0,750	95,000		-17,740	0,000	1,256	240,126	18,750	185,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
96	1,223	0,000	1,500	150,181	0,750	96,000		-17,524	0,000	1,506	240,181	18,750	186,000
97	1,211	0,000	1,500	150,246	0,750	97,000		-17,304	0,000	1,755	240,246	18,750	187,000
98	1,199	0,000	1,500	150,321	0,750	98,000		-17,080	0,000	2,002	240,321	18,750	188,000
99	1,187	0,000	1,500	150,406	0,750	99,000		-16,853	0,000	2,249	240,406	18,750	189,000
100	1,175	0,000	1,500	150,501	0,750	100,000		-16,623	0,000	2,494	240,501	18,750	190,000
101	1,164	0,000	1,500	150,606	0,750	101,000		-16,390	0,000	2,738	240,606	18,750	191,000
102	1,152	0,000	1,500	150,720	0,750	102,000		-16,154	0,000	2,980	240,720	18,750	192,000
103	1,141	0,000	1,500	150,844	0,750	103,000		-15,916	0,000	3,220	240,844	18,750	193,000
104	1,130	0,000	1,500	150,978	0,750	104,000		-15,676	0,000	3,458	240,978	18,750	194,000
105	1,119	0,000	1,500	151,121	0,750	105,000		-15,434	0,000	3,695	241,121	18,750	195,000
106	1,109	0,000	1,500	151,273	0,750	106,000		-15,191	0,000	3,929	241,273	18,750	196,000
107	1,098	0,000	1,500	151,435	0,750	107,000		-14,946	0,000	4,161	241,435	18,750	197,000
108	1,088	0,000	1,500	151,606	0,750	108,000		-14,700	0,000	4,391	241,606	18,750	198,000
109	1,078	0,000	1,500	151,786	0,750	109,000		-14,453	0,000	4,618	241,786	18,750	199,000
110	1,068	0,000	1,500	151,976	0,750	110,000		-14,206	0,000	4,843	241,976	18,750	200,000
111	1,058	0,000	1,500	152,174	0,750	111,000		-13,958	0,000	5,065	242,174	18,750	201,000
112	1,048	0,000	1,500	152,381	0,750	112,000		-13,710	0,000	5,285	242,381	18,750	202,000
113	1,039	0,000	1,500	152,597	0,750	113,000		-13,461	0,000	5,501	242,597	18,750	203,000
114	1,029	0,000	1,500	152,821	0,750	114,000		-13,213	0,000	5,715	242,821	18,750	204,000
115	1,020	0,000	1,500	153,054	0,750	115,000		-12,965	0,000	5,926	243,054	18,750	205,000
116	1,011	0,000	1,500	153,295	0,750	116,000		-12,718	0,000	6,134	243,295	18,750	206,000
117	1,002	0,000	1,500	153,544	0,750	117,000		-12,471	0,000	6,339	243,544	18,750	207,000
118	0,994	0,000	1,500	153,802	0,750	118,000		-12,224	0,000	6,540	243,802	18,750	208,000
119	0,985	0,000	1,500	154,068	0,750	119,000		-11,979	0,000	6,739	244,068	18,750	209,000
120	0,977	0,000	1,500	154,341	0,750	120,000		-11,734	0,000	6,934	244,341	18,750	210,000
121	0,969	0,000	1,500	154,622	0,750	121,000		-11,491	0,000	7,126	244,622	18,750	211,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
122	0,961	0,000	1,500	154,911	0,750	122,000		-11,249	0,000	7,314	244,911	18,750	212,000
123	0,953	0,000	1,500	155,207	0,750	123,000		-11,008	0,000	7,499	245,207	18,750	213,000
124	0,946	0,000	1,500	155,511	0,750	124,000		-10,769	0,000	7,681	245,511	18,750	214,000
125	0,938	0,000	1,500	155,822	0,750	125,000		-10,531	0,000	7,859	245,822	18,750	215,000
126	0,931	0,000	1,500	156,140	0,750	126,000		-10,294	0,000	8,034	246,140	18,750	216,000
127	0,924	0,000	1,500	156,464	0,750	127,000		-10,060	0,000	8,205	246,464	18,750	217,000
128	0,917	0,000	1,500	156,796	0,750	128,000		-9,827	0,000	8,373	246,796	18,750	218,000
129	0,910	0,000	1,500	157,134	0,750	129,000		-9,595	0,000	8,537	247,134	18,750	219,000
130	0,904	0,000	1,500	157,479	0,750	130,000		-9,366	0,000	8,698	247,479	18,750	220,000
131	0,897	0,000	1,500	157,830	0,750	131,000		-9,138	0,000	8,855	247,830	18,750	221,000
132	0,891	0,000	1,500	158,187	0,750	132,000		-8,913	0,000	9,009	248,187	18,750	222,000
133	0,885	0,000	1,500	158,551	0,750	133,000		-8,689	0,000	9,159	248,551	18,750	223,000
134	0,879	0,000	1,500	158,920	0,750	134,000		-8,467	0,000	9,306	248,920	18,750	224,000
135	0,873	0,000	1,500	159,295	0,750	135,000		-8,247	0,000	9,449	249,295	18,750	225,000
136	0,867	0,000	1,500	159,676	0,750	136,000		-8,029	0,000	9,589	249,676	18,750	226,000
137	0,862	0,000	1,500	160,062	0,750	137,000		-7,813	0,000	9,725	250,062	18,750	227,000
138	0,856	0,000	1,500	160,454	0,750	138,000		-7,599	0,000	9,857	250,454	18,750	228,000
139	0,851	0,000	1,500	160,851	0,750	139,000		-7,387	0,000	9,986	250,851	18,750	229,000
140	0,846	0,000	1,500	161,253	0,750	140,000		-7,177	0,000	10,112	251,253	18,750	230,000
141	0,841	0,000	1,500	161,660	0,750	141,000		-6,969	0,000	10,234	251,660	18,750	231,000
142	0,836	0,000	1,500	162,071	0,750	142,000		-6,763	0,000	10,353	252,071	18,750	232,000
143	0,832	0,000	1,500	162,488	0,750	143,000		-6,559	0,000	10,468	252,488	18,750	233,000
144	0,827	0,000	1,500	162,909	0,750	144,000		-6,357	0,000	10,580	252,909	18,750	234,000
145	0,823	0,000	1,500	163,334	0,750	145,000		-6,157	0,000	10,688	253,334	18,750	235,000
146	0,818	0,000	1,500	163,764	0,750	146,000		-5,958	0,000	10,793	253,764	18,750	236,000
147	0,814	0,000	1,500	164,198	0,750	147,000		-5,762	0,000	10,895	254,198	18,750	237,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
148	0,810	0,000	1,500	164,635	0,750	148,000		-5,567	0,000	10,994	254,635	18,750	238,000
149	0,807	0,000	1,500	165,077	0,750	149,000		-5,374	0,000	11,089	255,077	18,750	239,000
150	0,803	0,000	1,500	165,522	0,750	150,000		-5,182	0,000	11,180	255,522	18,750	240,000
151	0,799	0,000	1,500	165,971	0,750	151,000		-4,993	0,000	11,269	255,971	18,750	241,000
152	0,796	0,000	1,500	166,424	0,750	152,000		-4,805	0,000	11,354	256,424	18,750	242,000
153	0,793	0,000	1,500	166,880	0,750	153,000		-4,618	0,000	11,436	256,880	18,750	243,000
154	0,789	0,000	1,500	167,339	0,750	154,000		-4,434	0,000	11,515	257,339	18,750	244,000
155	0,786	0,000	1,500	167,801	0,750	155,000		-4,250	0,000	11,591	257,801	18,750	245,000
156	0,783	0,000	1,500	168,266	0,750	156,000		-4,068	0,000	11,663	258,266	18,750	246,000
157	0,781	0,000	1,500	168,734	0,750	157,000		-3,888	0,000	11,732	258,734	18,750	247,000
158	0,778	0,000	1,500	169,205	0,750	158,000		-3,709	0,000	11,799	259,205	18,750	248,000
159	0,776	0,000	1,500	169,678	0,750	159,000		-3,531	0,000	11,862	259,678	18,750	249,000
160	0,773	0,000	1,500	170,153	0,750	160,000		-3,355	0,000	11,922	260,153	18,750	250,000
161	0,771	0,000	1,500	170,631	0,750	161,000		-3,179	0,000	11,979	260,631	18,750	251,000
162	0,769	0,000	1,500	171,112	0,750	162,000		-3,005	0,000	12,033	261,112	18,750	252,000
163	0,767	0,000	1,500	171,594	0,750	163,000		-2,832	0,000	12,084	261,594	18,750	253,000
164	0,765	0,000	1,500	172,078	0,750	164,000		-2,660	0,000	12,132	262,078	18,750	254,000
165	0,763	0,000	1,500	172,565	0,750	165,000		-2,489	0,000	12,176	262,565	18,750	255,000
166	0,761	0,000	1,500	173,052	0,750	166,000		-2,319	0,000	12,218	263,052	18,750	256,000
167	0,760	0,000	1,500	173,542	0,750	167,000		-2,150	0,000	12,257	263,542	18,750	257,000
168	0,758	0,000	1,500	174,033	0,750	168,000		-1,981	0,000	12,293	264,033	18,750	258,000
169	0,757	0,000	1,500	174,525	0,750	169,000		-1,814	0,000	12,327	264,525	18,750	259,000
170	0,756	0,000	1,500	175,019	0,750	170,000		-1,647	0,000	12,357	265,019	18,750	260,000
171	0,755	0,000	1,500	175,514	0,750	171,000		-1,480	0,000	12,384	265,514	18,750	261,000
172	0,754	0,000	1,500	176,010	0,750	172,000		-1,314	0,000	12,408	266,010	18,750	262,000
173	0,753	0,000	1,500	176,507	0,750	173,000		-1,149	0,000	12,430	266,507	18,750	263,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
174	0,752	0,000	1,500	177,004	0,750	174,000		-0,984	0,000	12,449	267,004	18,750	264,000
175	0,751	0,000	1,500	177,502	0,750	175,000		-0,819	0,000	12,464	267,502	18,750	265,000
176	0,751	0,000	1,500	178,001	0,750	176,000		-0,655	0,000	12,477	268,001	18,750	266,000
177	0,751	0,000	1,500	178,501	0,750	177,000		-0,491	0,000	12,487	268,501	18,750	267,000
178	0,750	0,000	1,500	179,000	0,750	178,000		-0,327	0,000	12,494	269,000	18,750	268,000
179	0,750	0,000	1,500	179,500	0,750	179,000		-0,164	0,000	12,499	269,500	18,750	269,000
180	0,750	0,000	1,500	180,000	0,750	180,000		0,000	0,000	12,500	270,000	18,750	270,000
181	0,750	0,000	1,500	180,500	0,750	181,000		0,164	0,000	12,499	270,500	18,750	271,000
182	0,750	0,000	1,500	181,000	0,750	182,000		0,327	0,000	12,494	271,000	18,750	272,000
183	0,751	0,000	1,500	181,499	0,750	183,000		0,491	0,000	12,487	271,499	18,750	273,000
184	0,751	0,000	1,500	181,999	0,750	184,000		0,655	0,000	12,477	271,999	18,750	274,000
185	0,751	0,000	1,500	182,498	0,750	185,000		0,819	0,000	12,464	272,498	18,750	275,000
186	0,752	0,000	1,500	182,996	0,750	186,000		0,984	0,000	12,449	272,996	18,750	276,000
187	0,753	0,000	1,500	183,493	0,750	187,000		1,149	0,000	12,430	273,493	18,750	277,000
188	0,754	0,000	1,500	183,990	0,750	188,000		1,314	0,000	12,408	273,990	18,750	278,000
189	0,755	0,000	1,500	184,486	0,750	189,000		1,480	0,000	12,384	274,486	18,750	279,000
190	0,756	0,000	1,500	184,981	0,750	190,000		1,647	0,000	12,357	274,981	18,750	280,000
191	0,757	0,000	1,500	185,475	0,750	191,000		1,814	0,000	12,327	275,475	18,750	281,000
192	0,758	0,000	1,500	185,967	0,750	192,000		1,981	0,000	12,293	275,967	18,750	282,000
193	0,760	0,000	1,500	186,458	0,750	193,000		2,150	0,000	12,257	276,458	18,750	283,000
194	0,761	0,000	1,500	186,948	0,750	194,000		2,319	0,000	12,218	276,948	18,750	284,000
195	0,763	0,000	1,500	187,435	0,750	195,000		2,489	0,000	12,176	277,435	18,750	285,000
196	0,765	0,000	1,500	187,922	0,750	196,000		2,660	0,000	12,132	277,922	18,750	286,000
197	0,767	0,000	1,500	188,406	0,750	197,000		2,832	0,000	12,084	278,406	18,750	287,000
198	0,769	0,000	1,500	188,888	0,750	198,000		3,005	0,000	12,033	278,888	18,750	288,000
199	0,771	0,000	1,500	189,369	0,750	199,000		3,179	0,000	11,979	279,369	18,750	289,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
200	0,773	0,000	1,500	189,847	0,750	200,000		3,355	0,000	11,922	279,847	18,750	290,000
201	0,776	0,000	1,500	190,322	0,750	201,000		3,531	0,000	11,862	280,322	18,750	291,000
202	0,778	0,000	1,500	190,795	0,750	202,000		3,709	0,000	11,799	280,795	18,750	292,000
203	0,781	0,000	1,500	191,266	0,750	203,000		3,888	0,000	11,732	281,266	18,750	293,000
204	0,783	0,000	1,500	191,734	0,750	204,000		4,068	0,000	11,663	281,734	18,750	294,000
205	0,786	0,000	1,500	192,199	0,750	205,000		4,250	0,000	11,591	282,199	18,750	295,000
206	0,789	0,000	1,500	192,661	0,750	206,000		4,434	0,000	11,515	282,661	18,750	296,000
207	0,793	0,000	1,500	193,120	0,750	207,000		4,618	0,000	11,436	283,120	18,750	297,000
208	0,796	0,000	1,500	193,576	0,750	208,000		4,805	0,000	11,354	283,576	18,750	298,000
209	0,799	0,000	1,500	194,029	0,750	209,000		4,993	0,000	11,269	284,029	18,750	299,000
210	0,803	0,000	1,500	194,478	0,750	210,000		5,182	0,000	11,180	284,478	18,750	300,000
211	0,807	0,000	1,500	194,923	0,750	211,000		5,374	0,000	11,089	284,923	18,750	301,000
212	0,810	0,000	1,500	195,365	0,750	212,000		5,567	0,000	10,994	285,365	18,750	302,000
213	0,814	0,000	1,500	195,802	0,750	213,000		5,762	0,000	10,895	285,802	18,750	303,000
214	0,818	0,000	1,500	196,236	0,750	214,000		5,958	0,000	10,793	286,236	18,750	304,000
215	0,823	0,000	1,500	196,666	0,750	215,000		6,157	0,000	10,688	286,666	18,750	305,000
216	0,827	0,000	1,500	197,091	0,750	216,000		6,357	0,000	10,580	287,091	18,750	306,000
217	0,832	0,000	1,500	197,512	0,750	217,000		6,559	0,000	10,468	287,512	18,750	307,000
218	0,836	0,000	1,500	197,929	0,750	218,000		6,763	0,000	10,353	287,929	18,750	308,000
219	0,841	0,000	1,500	198,340	0,750	219,000		6,969	0,000	10,234	288,340	18,750	309,000
220	0,846	0,000	1,500	198,747	0,750	220,000		7,177	0,000	10,112	288,747	18,750	310,000
221	0,851	0,000	1,500	199,149	0,750	221,000		7,387	0,000	9,986	289,149	18,750	311,000
222	0,856	0,000	1,500	199,546	0,750	222,000		7,599	0,000	9,857	289,546	18,750	312,000
223	0,862	0,000	1,500	199,938	0,750	223,000		7,813	0,000	9,725	289,938	18,750	313,000
224	0,867	0,000	1,500	200,324	0,750	224,000		8,029	0,000	9,589	290,324	18,750	314,000
225	0,873	0,000	1,500	200,705	0,750	225,000		8,247	0,000	9,449	290,705	18,750	315,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
226	0,879	0,000	1,500	201,080	0,750	226,000		8,467	0,000	9,306	291,080	18,750	316,000
227	0,885	0,000	1,500	201,449	0,750	227,000		8,689	0,000	9,159	291,449	18,750	317,000
228	0,891	0,000	1,500	201,813	0,750	228,000		8,913	0,000	9,009	291,813	18,750	318,000
229	0,897	0,000	1,500	202,170	0,750	229,000		9,138	0,000	8,855	292,170	18,750	319,000
230	0,904	0,000	1,500	202,521	0,750	230,000		9,366	0,000	8,698	292,521	18,750	320,000
231	0,910	0,000	1,500	202,866	0,750	231,000		9,595	0,000	8,537	292,866	18,750	321,000
232	0,917	0,000	1,500	203,204	0,750	232,000		9,827	0,000	8,373	293,204	18,750	322,000
233	0,924	0,000	1,500	203,536	0,750	233,000		10,060	0,000	8,205	293,536	18,750	323,000
234	0,931	0,000	1,500	203,860	0,750	234,000		10,294	0,000	8,034	293,860	18,750	324,000
235	0,938	0,000	1,500	204,178	0,750	235,000		10,531	0,000	7,859	294,178	18,750	325,000
236	0,946	0,000	1,500	204,489	0,750	236,000		10,769	0,000	7,681	294,489	18,750	326,000
237	0,953	0,000	1,500	204,793	0,750	237,000		11,008	0,000	7,499	294,793	18,750	327,000
238	0,961	0,000	1,500	205,089	0,750	238,000		11,249	0,000	7,314	295,089	18,750	328,000
239	0,969	0,000	1,500	205,378	0,750	239,000		11,491	0,000	7,126	295,378	18,750	329,000
240	0,977	0,000	1,500	205,659	0,750	240,000		11,734	0,000	6,934	295,659	18,750	330,000
241	0,985	0,000	1,500	205,932	0,750	241,000		11,979	0,000	6,739	295,932	18,750	331,000
242	0,994	0,000	1,500	206,198	0,750	242,000		12,224	0,000	6,540	296,198	18,750	332,000
243	1,002	0,000	1,500	206,456	0,750	243,000		12,471	0,000	6,339	296,456	18,750	333,000
244	1,011	0,000	1,500	206,705	0,750	244,000		12,718	0,000	6,134	296,705	18,750	334,000
245	1,020	0,000	1,500	206,946	0,750	245,000		12,965	0,000	5,926	296,946	18,750	335,000
246	1,029	0,000	1,500	207,179	0,750	246,000		13,213	0,000	5,715	297,179	18,750	336,000
247	1,039	0,000	1,500	207,403	0,750	247,000		13,461	0,000	5,501	297,403	18,750	337,000
248	1,048	0,000	1,500	207,619	0,750	248,000		13,710	0,000	5,285	297,619	18,750	338,000
249	1,058	0,000	1,500	207,826	0,750	249,000		13,958	0,000	5,065	297,826	18,750	339,000
250	1,068	0,000	1,500	208,024	0,750	250,000		14,206	0,000	4,843	298,024	18,750	340,000
251	1,078	0,000	1,500	208,214	0,750	251,000		14,453	0,000	4,618	298,214	18,750	341,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
252	1,088	0,000	1,500	208,394	0,750	252,000		14,700	0,000	4,391	298,394	18,750	342,000
253	1,098	0,000	1,500	208,565	0,750	253,000		14,946	0,000	4,161	298,565	18,750	343,000
254	1,109	0,000	1,500	208,727	0,750	254,000		15,191	0,000	3,929	298,727	18,750	344,000
255	1,119	0,000	1,500	208,879	0,750	255,000		15,434	0,000	3,695	298,879	18,750	345,000
256	1,130	0,000	1,500	209,022	0,750	256,000		15,676	0,000	3,458	299,022	18,750	346,000
257	1,141	0,000	1,500	209,156	0,750	257,000		15,916	0,000	3,220	299,156	18,750	347,000
258	1,152	0,000	1,500	209,280	0,750	258,000		16,154	0,000	2,980	299,280	18,750	348,000
259	1,164	0,000	1,500	209,394	0,750	259,000		16,390	0,000	2,738	299,394	18,750	349,000
260	1,175	0,000	1,500	209,499	0,750	260,000		16,623	0,000	2,494	299,499	18,750	350,000
261	1,187	0,000	1,500	209,594	0,750	261,000		16,853	0,000	2,249	299,594	18,750	351,000
262	1,199	0,000	1,500	209,679	0,750	262,000		17,080	0,000	2,002	299,679	18,750	352,000
263	1,211	0,000	1,500	209,754	0,750	263,000		17,304	0,000	1,755	299,754	18,750	353,000
264	1,223	0,000	1,500	209,819	0,750	264,000		17,524	0,000	1,506	299,819	18,750	354,000
265	1,235	0,000	1,500	209,874	0,750	265,000		17,740	0,000	1,256	299,874	18,750	355,000
266	1,248	0,000	1,500	209,919	0,750	266,000		17,952	0,000	1,006	299,919	18,750	356,000
267	1,260	0,000	1,500	209,955	0,750	267,000		18,159	0,000	0,755	299,955	18,750	357,000
268	1,273	0,000	1,500	209,980	0,750	268,000		18,361	0,000	0,504	299,980	18,750	358,000
269	1,286	0,000	1,500	209,995	0,750	269,000		18,558	0,000	0,252	299,995	18,750	359,000
270	1,299	0,000	1,500	210,000	0,750	270,000		18,750	0,000	0,000	300,000	18,750	360,000
271	1,312	0,000	1,500	209,995	0,750	271,000		18,936	0,000	-0,252	299,995	18,750	361,000
272	1,325	0,000	1,500	209,980	0,750	272,000		19,116	0,000	-0,504	299,980	18,750	362,000
273	1,339	0,000	1,500	209,955	0,750	273,000		19,290	0,000	-0,755	299,955	18,750	363,000
274	1,352	0,000	1,500	209,919	0,750	274,000		19,457	0,000	-1,006	299,919	18,750	364,000
275	1,366	0,000	1,500	209,874	0,750	275,000		19,617	0,000	-1,256	299,874	18,750	365,000
276	1,380	0,000	1,500	209,819	0,750	276,000		19,771	0,000	-1,506	299,819	18,750	366,000
277	1,394	0,000	1,500	209,754	0,750	277,000		19,916	0,000	-1,755	299,754	18,750	367,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
278	1,408	0,000	1,500	209,679	0,750	278,000		20,055	0,000	-2,002	299,679	18,750	368,000
279	1,422	0,000	1,500	209,594	0,750	279,000		20,185	0,000	-2,249	299,594	18,750	369,000
280	1,436	0,000	1,500	209,499	0,750	280,000		20,307	0,000	-2,494	299,499	18,750	370,000
281	1,450	0,000	1,500	209,394	0,750	281,000		20,421	0,000	-2,738	299,394	18,750	371,000
282	1,464	0,000	1,500	209,280	0,750	282,000		20,526	0,000	-2,980	299,280	18,750	372,000
283	1,479	0,000	1,500	209,156	0,750	283,000		20,622	0,000	-3,220	299,156	18,750	373,000
284	1,493	0,000	1,500	209,022	0,750	284,000		20,710	0,000	-3,458	299,022	18,750	374,000
285	1,508	0,000	1,500	208,879	0,750	285,000		20,788	0,000	-3,695	298,879	18,750	375,000
286	1,522	0,000	1,500	208,727	0,750	286,000		20,856	0,000	-3,929	298,727	18,750	376,000
287	1,537	0,000	1,500	208,565	0,750	287,000		20,915	0,000	-4,161	298,565	18,750	377,000
288	1,551	0,000	1,500	208,394	0,750	288,000		20,964	0,000	-4,391	298,394	18,750	378,000
289	1,566	0,000	1,500	208,214	0,750	289,000		21,003	0,000	-4,618	298,214	18,750	379,000
290	1,581	0,000	1,500	208,024	0,750	290,000		21,033	0,000	-4,843	298,024	18,750	380,000
291	1,595	0,000	1,500	207,826	0,750	291,000		21,051	0,000	-5,065	297,826	18,750	381,000
292	1,610	0,000	1,500	207,619	0,750	292,000		21,060	0,000	-5,285	297,619	18,750	382,000
293	1,625	0,000	1,500	207,403	0,750	293,000		21,058	0,000	-5,501	297,403	18,750	383,000
294	1,639	0,000	1,500	207,179	0,750	294,000		21,045	0,000	-5,715	297,179	18,750	384,000
295	1,654	0,000	1,500	206,946	0,750	295,000		21,021	0,000	-5,926	296,946	18,750	385,000
296	1,669	0,000	1,500	206,705	0,750	296,000		20,987	0,000	-6,134	296,705	18,750	386,000
297	1,683	0,000	1,500	206,456	0,750	297,000		20,942	0,000	-6,339	296,456	18,750	387,000
298	1,698	0,000	1,500	206,198	0,750	298,000		20,886	0,000	-6,540	296,198	18,750	388,000
299	1,713	0,000	1,500	205,932	0,750	299,000		20,819	0,000	-6,739	295,932	18,750	389,000
300	1,727	0,000	1,500	205,659	0,750	300,000		20,742	0,000	-6,934	295,659	18,750	390,000
301	1,742	0,000	1,500	205,378	0,750	301,000		20,653	0,000	-7,126	295,378	18,750	391,000
302	1,756	0,000	1,500	205,089	0,750	302,000		20,553	0,000	-7,314	295,089	18,750	392,000
303	1,770	0,000	1,500	204,793	0,750	303,000		20,442	0,000	-7,499	294,793	18,750	393,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
304	1,784	0,000	1,500	204,489	0,750	304,000		20,320	0,000	-7,681	294,489	18,750	394,000
305	1,799	0,000	1,500	204,178	0,750	305,000		20,187	0,000	-7,859	294,178	18,750	395,000
306	1,813	0,000	1,500	203,860	0,750	306,000		20,044	0,000	-8,034	293,860	18,750	396,000
307	1,827	0,000	1,500	203,536	0,750	307,000		19,889	0,000	-8,205	293,536	18,750	397,000
308	1,840	0,000	1,500	203,204	0,750	308,000		19,724	0,000	-8,373	293,204	18,750	398,000
309	1,854	0,000	1,500	202,866	0,750	309,000		19,548	0,000	-8,537	292,866	18,750	399,000
310	1,868	0,000	1,500	202,521	0,750	310,000		19,361	0,000	-8,698	292,521	18,750	400,000
311	1,881	0,000	1,500	202,170	0,750	311,000		19,163	0,000	-8,855	292,170	18,750	401,000
312	1,894	0,000	1,500	201,813	0,750	312,000		18,955	0,000	-9,009	291,813	18,750	402,000
313	1,908	0,000	1,500	201,449	0,750	313,000		18,737	0,000	-9,159	291,449	18,750	403,000
314	1,921	0,000	1,500	201,080	0,750	314,000		18,508	0,000	-9,306	291,080	18,750	404,000
315	1,933	0,000	1,500	200,705	0,750	315,000		18,269	0,000	-9,449	290,705	18,750	405,000
316	1,946	0,000	1,500	200,324	0,750	316,000		18,021	0,000	-9,589	290,324	18,750	406,000
317	1,959	0,000	1,500	199,938	0,750	317,000		17,762	0,000	-9,725	289,938	18,750	407,000
318	1,971	0,000	1,500	199,546	0,750	318,000		17,493	0,000	-9,857	289,546	18,750	408,000
319	1,983	0,000	1,500	199,149	0,750	319,000		17,215	0,000	-9,986	289,149	18,750	409,000
320	1,995	0,000	1,500	198,747	0,750	320,000		16,927	0,000	-10,112	288,747	18,750	410,000
321	2,007	0,000	1,500	198,340	0,750	321,000		16,630	0,000	-10,234	288,340	18,750	411,000
322	2,018	0,000	1,500	197,929	0,750	322,000		16,324	0,000	-10,353	287,929	18,750	412,000
323	2,029	0,000	1,500	197,512	0,750	323,000		16,009	0,000	-10,468	287,512	18,750	413,000
324	2,041	0,000	1,500	197,091	0,750	324,000		15,685	0,000	-10,580	287,091	18,750	414,000
325	2,051	0,000	1,500	196,666	0,750	325,000		15,353	0,000	-10,688	286,666	18,750	415,000
326	2,062	0,000	1,500	196,236	0,750	326,000		15,012	0,000	-10,793	286,236	18,750	416,000
327	2,072	0,000	1,500	195,802	0,750	327,000		14,662	0,000	-10,895	285,802	18,750	417,000
328	2,082	0,000	1,500	195,365	0,750	328,000		14,305	0,000	-10,994	285,365	18,750	418,000
329	2,092	0,000	1,500	194,923	0,750	329,000		13,940	0,000	-11,089	284,923	18,750	419,000

	R _A	θ _A	R _B	θ _B	R _C	θ _C		R' _A	θ _A	B/R ₂	θ _B	R _C	θ _C
	R ₁	θ ₁	R ₂	θ ₂	R ₃	θ ₃		R' ₁	θ ₁	ω ₂	θ ₂ +90	R ₃ ω ₃	θ ₃ +90
Posición													
330	2,102	0,000	1,500	194,478	0,750	330,000		13,568	0,000	-11,180	284,478	18,750	420,000
331	2,111	0,000	1,500	194,029	0,750	331,000		13,188	0,000	-11,269	284,029	18,750	421,000
332	2,120	0,000	1,500	193,576	0,750	332,000		12,800	0,000	-11,354	283,576	18,750	422,000
333	2,129	0,000	1,500	193,120	0,750	333,000		12,406	0,000	-11,436	283,120	18,750	423,000
334	2,138	0,000	1,500	192,661	0,750	334,000		12,005	0,000	-11,515	282,661	18,750	424,000
335	2,146	0,000	1,500	192,199	0,750	335,000		11,598	0,000	-11,591	282,199	18,750	425,000
336	2,154	0,000	1,500	191,734	0,750	336,000		11,184	0,000	-11,663	281,734	18,750	426,000
337	2,161	0,000	1,500	191,266	0,750	337,000		10,764	0,000	-11,732	281,266	18,750	427,000
338	2,169	0,000	1,500	190,795	0,750	338,000		10,339	0,000	-11,799	280,795	18,750	428,000
339	2,176	0,000	1,500	190,322	0,750	339,000		9,908	0,000	-11,862	280,322	18,750	429,000
340	2,183	0,000	1,500	189,847	0,750	340,000		9,471	0,000	-11,922	279,847	18,750	430,000
341	2,189	0,000	1,500	189,369	0,750	341,000		9,029	0,000	-11,979	279,369	18,750	431,000
342	2,195	0,000	1,500	188,888	0,750	342,000		8,583	0,000	-12,033	278,888	18,750	432,000
343	2,201	0,000	1,500	188,406	0,750	343,000		8,132	0,000	-12,084	278,406	18,750	433,000
344	2,207	0,000	1,500	187,922	0,750	344,000		7,676	0,000	-12,132	277,922	18,750	434,000
345	2,212	0,000	1,500	187,435	0,750	345,000		7,216	0,000	-12,176	277,435	18,750	435,000
346	2,217	0,000	1,500	186,948	0,750	346,000		6,753	0,000	-12,218	276,948	18,750	436,000
347	2,221	0,000	1,500	186,458	0,750	347,000		6,286	0,000	-12,257	276,458	18,750	437,000
348	2,225	0,000	1,500	185,967	0,750	348,000		5,815	0,000	-12,293	275,967	18,750	438,000
349	2,229	0,000	1,500	185,475	0,750	349,000		5,342	0,000	-12,327	275,475	18,750	439,000
350	2,233	0,000	1,500	184,981	0,750	350,000		4,865	0,000	-12,357	274,981	18,750	440,000
351	2,236	0,000	1,500	184,486	0,750	351,000		4,386	0,000	-12,384	274,486	18,750	441,000
352	2,239	0,000	1,500	183,990	0,750	352,000		3,905	0,000	-12,408	273,990	18,750	442,000
353	2,242	0,000	1,500	183,493	0,750	353,000		3,421	0,000	-12,430	273,493	18,750	443,000
354	2,244	0,000	1,500	182,996	0,750	354,000		2,936	0,000	-12,449	272,996	18,750	444,000
355	2,246	0,000	1,500	182,498	0,750	355,000		2,449	0,000	-12,464	272,498	18,750	445,000

	R_A	θ_A	R_B	θ_B	R_C	θ_C		R'_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C
	R_1	θ_1	R_2	θ_2	R_3	θ_3		R'_1	θ_1	ω_2	θ_2+90	$R_3 \omega_3$	θ_3+90
Posición													
356	2,247	0,000	1,500	181,999	0,750	356,000		1,961	0,000	-12,477	271,999	18,750	446,000
357	2,248	0,000	1,500	181,499	0,750	357,000		1,471	0,000	-12,487	271,499	18,750	447,000
358	2,249	0,000	1,500	181,000	0,750	358,000		0,981	0,000	-12,494	271,000	18,750	448,000
359	2,250	0,000	1,500	180,500	0,750	359,000		0,491	0,000	-12,499	270,500	18,750	449,000
360	2,250	0,000	1,500	180,000	0,750	360,000		0,000	0,000	-12,500	270,000	18,750	450,000

ACELERACIONES

Primera ecuación

$$R''_1 e^{i\theta_1} + R_2 \alpha_2 e^{i(\theta_2+90)} = -R_3 \omega_3^2 e^{i\theta_3} + R_2 \omega_2^2 e^{i\theta_2}$$

	R _A	θ _A	B/R ₂	θ _B	R _C	θ _C			-R ₃ ω ₃ ²	θ ₃	R ₂ ω ₂ ²	θ ₂
	R'' ₁	θ ₁	α ₂	θ ₂ +90			Re (C)	Im (C)	C ₃	θ _{C3}	C ₂	θ _{C2}
Posición												
0	-703,125	0,000	0,000	270,000	703,125	180,000	-703,125	0,000	-468,750	0,000	234,375	180,000
1	-702,938	0,000	4,091	269,500	703,018	-179,500	-702,991	-6,136	-468,750	1,000	234,321	179,500
2	-702,375	0,000	8,183	269,000	702,697	-178,999	-702,590	-12,273	-468,750	2,000	234,161	179,000
3	-701,439	0,000	12,279	268,501	702,162	-178,497	-701,921	-18,412	-468,750	3,000	233,893	178,501
4	-700,128	0,000	16,379	268,001	701,415	-177,994	-700,985	-24,554	-468,750	4,000	233,519	178,001
5	-698,443	0,000	20,485	267,502	700,455	-177,488	-699,782	-30,699	-468,750	5,000	233,037	177,502
6	-696,385	0,000	24,600	267,004	699,285	-176,979	-698,314	-36,849	-468,750	6,000	232,449	177,004
7	-693,955	0,000	28,723	266,507	697,906	-176,467	-696,580	-43,004	-468,750	7,000	231,755	176,507
8	-691,152	0,000	32,857	266,010	696,320	-175,951	-694,582	-49,166	-468,750	8,000	230,954	176,010
9	-687,980	0,000	37,003	265,514	694,529	-175,430	-692,321	-55,335	-468,750	9,000	230,047	175,514
10	-684,437	0,000	41,163	265,019	692,535	-174,904	-689,798	-61,512	-468,750	10,000	229,034	175,019
11	-680,526	0,000	45,338	264,525	690,342	-174,372	-687,014	-67,697	-468,750	11,000	227,916	174,525
12	-676,248	0,000	49,530	264,033	687,952	-173,834	-683,972	-73,892	-468,750	12,000	226,693	174,033
13	-671,605	0,000	53,739	263,542	685,368	-173,289	-680,672	-80,098	-468,750	13,000	225,366	173,542
14	-666,598	0,000	57,968	263,052	682,595	-172,736	-677,116	-86,314	-468,750	14,000	223,934	173,052
15	-661,230	0,000	62,217	262,565	679,637	-172,174	-673,307	-92,541	-468,750	15,000	222,399	172,565
16	-655,501	0,000	66,488	262,078	676,497	-171,604	-669,246	-98,780	-468,750	16,000	220,761	172,078
17	-649,415	0,000	70,781	261,594	673,180	-171,024	-664,936	-105,031	-468,750	17,000	219,021	171,594

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
18	-642,973	0,000	75,099	261,112	669,691	-170,434	-660,379	-111,296	-468,750	18,000	217,179	171,112
19	-636,179	0,000	79,442	260,631	666,036	-169,832	-655,577	-117,573	-468,750	19,000	215,236	170,631
20	-629,035	0,000	83,810	260,153	662,221	-169,220	-650,533	-123,864	-468,750	20,000	213,193	170,153
21	-621,543	0,000	88,206	259,678	658,250	-168,595	-645,251	-130,168	-468,750	21,000	211,051	169,678
22	-613,708	0,000	92,630	259,205	654,130	-167,957	-639,733	-136,486	-468,750	22,000	208,811	169,205
23	-605,532	0,000	97,082	258,734	649,869	-167,305	-633,981	-142,817	-468,750	23,000	206,473	168,734
24	-597,018	0,000	101,564	258,266	645,472	-166,639	-628,001	-149,163	-468,750	24,000	204,040	168,266
25	-588,171	0,000	106,076	257,801	640,948	-165,957	-621,793	-155,521	-468,750	25,000	201,512	167,801
26	-578,995	0,000	110,618	257,339	636,303	-165,260	-615,364	-161,893	-468,750	26,000	198,890	167,339
27	-569,493	0,000	115,192	256,880	631,547	-164,547	-608,715	-168,277	-468,750	27,000	196,177	166,880
28	-559,671	0,000	119,796	256,424	626,687	-163,816	-601,852	-174,673	-468,750	28,000	193,373	166,424
29	-549,533	0,000	124,432	255,971	621,732	-163,067	-594,777	-181,081	-468,750	29,000	190,480	165,971
30	-539,083	0,000	129,099	255,522	616,691	-162,299	-587,496	-187,500	-468,750	30,000	187,500	165,522
31	-528,328	0,000	133,798	255,077	611,573	-161,512	-580,011	-193,929	-468,750	31,000	184,435	165,077
32	-517,273	0,000	138,529	254,635	606,389	-160,705	-572,329	-200,366	-468,750	32,000	181,286	164,635
33	-505,923	0,000	143,290	254,198	601,148	-159,878	-564,454	-206,811	-468,750	33,000	178,056	164,198
34	-494,285	0,000	148,081	253,764	595,861	-159,028	-556,389	-213,263	-468,750	34,000	174,747	163,764
35	-482,365	0,000	152,902	253,334	590,538	-158,157	-548,141	-219,719	-468,750	35,000	171,362	163,334
36	-470,171	0,000	157,753	252,909	585,191	-157,263	-539,715	-226,179	-468,750	36,000	167,903	162,909
37	-457,709	0,000	162,631	252,488	579,831	-156,345	-531,114	-232,640	-468,750	37,000	164,372	162,488
38	-444,987	0,000	167,536	252,071	574,468	-155,404	-522,346	-239,101	-468,750	38,000	160,772	162,071
39	-432,012	0,000	172,466	251,660	569,116	-154,439	-513,414	-245,558	-468,750	39,000	157,108	161,660
40	-418,793	0,000	177,420	251,253	563,786	-153,449	-504,326	-252,011	-468,750	40,000	153,380	161,253
41	-405,339	0,000	182,397	250,851	558,489	-152,433	-495,086	-258,457	-468,750	41,000	149,594	160,851
42	-391,658	0,000	187,393	250,454	553,239	-151,393	-485,701	-264,892	-468,750	42,000	145,751	160,454
43	-377,761	0,000	192,408	250,062	548,047	-150,327	-476,177	-271,314	-468,750	43,000	141,857	160,062

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
44	-363,655	0,000	197,438	249,676	542,926	-149,235	-466,519	-277,719	-468,750	44,000	137,915	159,676
45	-349,353	0,000	202,481	249,295	537,887	-148,117	-456,735	-284,105	-468,750	45,000	133,929	159,295
46	-334,865	0,000	207,534	248,920	532,944	-146,974	-446,830	-290,469	-468,750	46,000	129,902	158,920
47	-320,200	0,000	212,594	248,551	528,108	-145,805	-436,811	-296,805	-468,750	47,000	125,840	158,551
48	-305,372	0,000	217,658	248,187	523,390	-144,611	-426,686	-303,111	-468,750	48,000	121,747	158,187
49	-290,392	0,000	222,721	247,830	518,802	-143,392	-416,459	-309,383	-468,750	49,000	117,628	157,830
50	-275,272	0,000	227,781	247,479	514,356	-142,149	-406,139	-315,615	-468,750	50,000	113,487	157,479
51	-260,024	0,000	232,833	247,134	510,061	-140,883	-395,733	-321,804	-468,750	51,000	109,331	157,134
52	-244,663	0,000	237,872	246,796	505,928	-139,594	-385,247	-327,945	-468,750	52,000	105,163	156,796
53	-229,201	0,000	242,895	246,464	501,967	-138,283	-374,689	-334,033	-468,750	53,000	100,989	156,464
54	-213,652	0,000	247,896	246,140	498,184	-136,952	-364,066	-340,064	-468,750	54,000	96,816	156,140
55	-198,031	0,000	252,870	245,822	494,589	-135,602	-353,386	-346,031	-468,750	55,000	92,649	155,822
56	-182,353	0,000	257,812	245,511	491,189	-134,235	-342,655	-351,929	-468,750	56,000	88,494	155,511
57	-166,632	0,000	262,716	245,207	487,988	-132,852	-331,881	-357,753	-468,750	57,000	84,356	155,207
58	-150,883	0,000	267,577	244,911	484,992	-131,454	-321,072	-363,497	-468,750	58,000	80,243	154,911
59	-135,123	0,000	272,389	244,622	482,206	-130,043	-310,236	-369,156	-468,750	59,000	76,161	154,622
60	-119,368	0,000	277,145	244,341	479,630	-128,623	-299,379	-374,723	-468,750	60,000	72,115	154,341
61	-103,633	0,000	281,839	244,068	477,266	-127,193	-288,510	-380,191	-468,750	61,000	68,114	154,068
62	-87,936	0,000	286,464	243,802	475,116	-125,757	-277,636	-385,556	-468,750	62,000	64,162	153,802
63	-72,293	0,000	291,015	243,544	473,176	-124,317	-266,765	-390,810	-468,750	63,000	60,268	153,544
64	-56,720	0,000	295,483	243,295	471,445	-122,875	-255,904	-395,947	-468,750	64,000	56,438	153,295
65	-41,236	0,000	299,862	243,054	469,920	-121,433	-245,061	-400,960	-468,750	65,000	52,678	153,054
66	-25,856	0,000	304,146	242,821	468,593	-119,993	-234,244	-405,844	-468,750	66,000	48,996	152,821
67	-10,599	0,000	308,325	242,597	467,461	-118,557	-223,460	-410,592	-468,750	67,000	45,399	152,597
68	4,519	0,000	312,395	242,381	466,515	-117,127	-212,717	-415,196	-468,750	68,000	41,894	152,381
69	19,481	0,000	316,347	242,174	465,746	-115,706	-202,021	-419,651	-468,750	69,000	38,486	152,174

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
70	34,269	0,000	320,174	241,976	465,145	-114,295	-191,380	-423,950	-468,750	70,000	35,184	151,976
71	48,867	0,000	323,870	241,786	464,702	-112,897	-180,802	-428,087	-468,750	71,000	31,993	151,786
72	63,257	0,000	327,426	241,606	464,404	-111,512	-170,293	-432,055	-468,750	72,000	28,921	151,606
73	77,425	0,000	330,836	241,435	464,241	-110,142	-159,861	-435,849	-468,750	73,000	25,973	151,435
74	91,353	0,000	334,094	241,273	464,199	-108,789	-149,511	-439,462	-468,750	74,000	23,156	151,273
75	105,025	0,000	337,192	241,121	464,264	-107,454	-139,251	-442,888	-468,750	75,000	20,476	151,121
76	118,428	0,000	340,124	240,978	464,424	-106,138	-129,088	-446,123	-468,750	76,000	17,939	150,978
77	131,545	0,000	342,884	240,844	464,663	-104,842	-119,027	-449,160	-468,750	77,000	15,551	150,844
78	144,363	0,000	345,465	240,720	464,968	-103,567	-109,074	-451,994	-468,750	78,000	13,317	150,720
79	156,868	0,000	347,863	240,606	465,325	-102,314	-99,236	-454,620	-468,750	79,000	11,241	150,606
80	169,047	0,000	350,071	240,501	465,719	-101,082	-89,517	-457,035	-468,750	80,000	9,329	150,501
81	180,888	0,000	352,084	240,406	466,136	-99,873	-79,925	-459,233	-468,750	81,000	7,586	150,406
82	192,379	0,000	353,899	240,321	466,562	-98,686	-70,462	-461,210	-468,750	82,000	6,014	150,321
83	203,510	0,000	355,511	240,246	466,983	-97,523	-61,136	-462,964	-468,750	83,000	4,618	150,246
84	214,271	0,000	356,916	240,181	467,386	-96,382	-51,949	-464,490	-468,750	84,000	3,402	150,181
85	224,653	0,000	358,110	240,126	467,759	-95,263	-42,907	-465,787	-468,750	85,000	2,368	150,126
86	234,648	0,000	359,091	240,081	468,088	-94,167	-34,014	-466,851	-468,750	86,000	1,518	150,081
87	244,249	0,000	359,856	240,045	468,363	-93,093	-25,273	-467,681	-468,750	87,000	0,855	150,045
88	253,450	0,000	360,405	240,020	468,572	-92,041	-16,689	-468,274	-468,750	88,000	0,380	150,020
89	262,246	0,000	360,734	240,005	468,704	-91,010	-8,263	-468,631	-468,750	89,000	0,095	150,005
90	270,633	0,000	360,844	240,000	468,750	-90,000	0,000	-468,750	-468,750	90,000	0,000	150,000
91	278,608	0,000	360,734	240,005	468,701	-89,010	8,098	-468,631	-468,750	91,000	0,095	150,005
92	286,168	0,000	360,405	240,020	468,549	-88,039	16,030	-468,274	-468,750	92,000	0,380	150,020
93	293,314	0,000	359,856	240,045	468,285	-87,088	23,792	-467,681	-468,750	93,000	0,855	150,045
94	300,045	0,000	359,091	240,081	467,905	-86,154	31,383	-466,851	-468,750	94,000	1,518	150,081
95	306,361	0,000	358,110	240,126	467,400	-85,238	38,801	-465,787	-468,750	95,000	2,368	150,126

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_2+90			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
96	312,266	0,000	356,916	240,181	466,767	-84,339	46,046	-464,490	-468,750	96,000	3,402	150,181
97	317,762	0,000	355,511	240,246	466,001	-83,455	53,117	-462,964	-468,750	97,000	4,618	150,246
98	322,854	0,000	353,899	240,321	465,098	-82,586	60,012	-461,210	-468,750	98,000	6,014	150,321
99	327,545	0,000	352,084	240,406	464,056	-81,732	66,733	-459,233	-468,750	99,000	7,586	150,406
100	331,842	0,000	350,071	240,501	462,872	-80,891	73,278	-457,035	-468,750	100,000	9,329	150,501
101	335,751	0,000	347,863	240,606	461,545	-80,063	79,648	-454,620	-468,750	101,000	11,241	150,606
102	339,280	0,000	345,465	240,720	460,073	-79,246	85,843	-451,994	-468,750	102,000	13,317	150,720
103	342,437	0,000	342,884	240,844	458,458	-78,441	91,865	-449,160	-468,750	103,000	15,551	150,844
104	345,230	0,000	340,124	240,978	456,699	-77,646	97,714	-446,123	-468,750	104,000	17,939	150,978
105	347,668	0,000	337,192	241,121	454,797	-76,860	103,392	-442,888	-468,750	105,000	20,476	151,121
106	349,763	0,000	334,094	241,273	452,754	-76,082	108,899	-439,462	-468,750	106,000	23,156	151,273
107	351,523	0,000	330,836	241,435	450,571	-75,313	114,238	-435,849	-468,750	107,000	25,973	151,435
108	352,961	0,000	327,426	241,606	448,253	-74,550	119,410	-432,055	-468,750	108,000	28,921	151,606
109	354,087	0,000	323,870	241,786	445,801	-73,794	124,418	-428,087	-468,750	109,000	31,993	151,786
110	354,913	0,000	320,174	241,976	443,219	-73,043	129,264	-423,950	-468,750	110,000	35,184	151,976
111	355,451	0,000	316,347	242,174	440,510	-72,297	133,949	-419,651	-468,750	111,000	38,486	152,174
112	355,713	0,000	312,395	242,381	437,680	-71,555	138,477	-415,196	-468,750	112,000	41,894	152,381
113	355,712	0,000	308,325	242,597	434,732	-70,817	142,850	-410,592	-468,750	113,000	45,399	152,597
114	355,459	0,000	304,146	242,821	431,671	-70,080	147,071	-405,844	-468,750	114,000	48,996	152,821
115	354,969	0,000	299,862	243,054	428,502	-69,346	151,143	-400,960	-468,750	115,000	52,678	153,054
116	354,253	0,000	295,483	243,295	425,230	-68,613	155,069	-395,947	-468,750	116,000	56,438	153,295
117	353,323	0,000	291,015	243,544	421,860	-67,880	158,851	-390,810	-468,750	117,000	60,268	153,544
118	352,194	0,000	286,464	243,802	418,399	-67,147	162,494	-385,556	-468,750	118,000	64,162	153,802
119	350,876	0,000	281,839	244,068	414,851	-66,413	165,999	-380,191	-468,750	119,000	68,114	154,068
120	349,382	0,000	277,145	244,341	411,222	-65,677	169,371	-374,723	-468,750	120,000	72,115	154,341
121	347,725	0,000	272,389	244,622	407,518	-64,940	172,613	-369,156	-468,750	121,000	76,161	154,622

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
122	345,916	0,000	267,577	244,911	403,746	-64,199	175,727	-363,497	-468,750	122,000	80,243	154,911
123	343,967	0,000	262,716	245,207	399,909	-63,455	178,718	-357,753	-468,750	123,000	84,356	155,207
124	341,891	0,000	257,812	245,511	396,016	-62,707	181,589	-351,929	-468,750	124,000	88,494	155,511
125	339,697	0,000	252,870	245,822	392,071	-61,954	184,342	-346,031	-468,750	125,000	92,649	155,822
126	337,396	0,000	247,896	246,140	388,080	-61,196	186,982	-340,064	-468,750	126,000	96,816	156,140
127	335,001	0,000	242,895	246,464	384,049	-60,432	189,512	-334,033	-468,750	127,000	100,989	156,464
128	332,520	0,000	237,872	246,796	379,983	-59,661	191,935	-327,945	-468,750	128,000	105,163	156,796
129	329,964	0,000	232,833	247,134	375,889	-58,883	194,255	-321,804	-468,750	129,000	109,331	157,134
130	327,342	0,000	227,781	247,479	371,773	-58,097	196,474	-315,615	-468,750	130,000	113,487	157,479
131	324,663	0,000	222,721	247,830	367,638	-57,303	198,596	-309,383	-468,750	131,000	117,628	157,830
132	321,938	0,000	217,658	248,187	363,492	-56,500	200,624	-303,111	-468,750	132,000	121,747	158,187
133	319,173	0,000	212,594	248,551	359,339	-55,687	202,562	-296,805	-468,750	133,000	125,840	158,551
134	316,378	0,000	207,534	248,920	355,185	-54,865	204,412	-290,469	-468,750	134,000	129,902	158,920
135	313,559	0,000	202,481	249,295	351,034	-54,031	206,178	-284,105	-468,750	135,000	133,929	159,295
136	310,726	0,000	197,438	249,676	346,893	-53,187	207,862	-277,719	-468,750	136,000	137,915	159,676
137	307,884	0,000	192,408	250,062	342,764	-52,330	209,467	-271,314	-468,750	137,000	141,857	160,062
138	305,040	0,000	187,393	250,454	338,655	-51,461	210,997	-264,892	-468,750	138,000	145,751	160,454
139	302,201	0,000	182,397	250,851	334,569	-50,579	212,454	-258,457	-468,750	139,000	149,594	160,851
140	299,373	0,000	177,420	251,253	330,511	-49,684	213,841	-252,011	-468,750	140,000	153,380	161,253
141	296,562	0,000	172,466	251,660	326,485	-48,775	215,160	-245,558	-468,750	141,000	157,108	161,660
142	293,773	0,000	167,536	252,071	322,497	-47,851	216,414	-239,101	-468,750	142,000	160,772	162,071
143	291,012	0,000	162,631	252,488	318,550	-46,912	217,607	-232,640	-468,750	143,000	164,372	162,488
144	288,282	0,000	157,753	252,909	314,648	-45,958	218,739	-226,179	-468,750	144,000	167,903	162,909
145	285,590	0,000	152,902	253,334	310,797	-44,988	219,814	-219,719	-468,750	145,000	171,362	163,334
146	282,938	0,000	148,081	253,764	306,999	-44,001	220,833	-213,263	-468,750	146,000	174,747	163,764
147	280,331	0,000	143,290	254,198	303,259	-42,997	221,800	-206,811	-468,750	147,000	178,056	164,198

Posición	R _A	θ _A	B/R ₂	θ _B	R _C	θ _C	Re (C)	Im (C)	-R ₃ ω ₃ ²	θ ₃	R ₂ ω ₂ ²	θ ₂
	R'' ₁	θ ₁	α ₂	θ ₂₊₉₀	C ₃ θ _{C3} C ₂ θ _{C2}							
148	277,772	0,000	138,529	254,635	299,581	-41,976	222,716	-200,366	-468,750	148,000	181,286	164,635
149	275,266	0,000	133,798	255,077	295,969	-40,937	223,583	-193,929	-468,750	149,000	184,435	165,077
150	272,816	0,000	129,099	255,522	292,426	-39,880	224,403	-187,500	-468,750	150,000	187,500	165,522
151	270,423	0,000	124,432	255,971	288,957	-38,805	225,179	-181,081	-468,750	151,000	190,480	165,971
152	268,092	0,000	119,796	256,424	285,564	-37,711	225,912	-174,673	-468,750	152,000	193,373	166,424
153	265,825	0,000	115,192	256,880	282,252	-36,598	226,603	-168,277	-468,750	153,000	196,177	166,880
154	263,624	0,000	110,618	257,339	279,024	-35,465	227,256	-161,893	-468,750	154,000	198,890	167,339
155	261,492	0,000	106,076	257,801	275,883	-34,313	227,870	-155,521	-468,750	155,000	201,512	167,801
156	259,431	0,000	101,564	258,266	272,833	-33,142	228,448	-149,163	-468,750	156,000	204,040	168,266
157	257,442	0,000	97,082	258,734	269,878	-31,951	228,992	-142,817	-468,750	157,000	206,473	168,734
158	255,527	0,000	92,630	259,205	267,020	-30,740	229,502	-136,486	-468,750	158,000	208,811	169,205
159	253,688	0,000	88,206	259,678	264,263	-29,510	229,981	-130,168	-468,750	159,000	211,051	169,678
160	251,927	0,000	83,810	260,153	261,609	-28,260	230,428	-123,864	-468,750	160,000	213,193	170,153
161	250,244	0,000	79,442	260,631	259,063	-26,990	230,847	-117,573	-468,750	161,000	215,236	170,631
162	248,642	0,000	75,099	261,112	256,627	-25,702	231,237	-111,296	-468,750	162,000	217,179	171,112
163	247,121	0,000	70,781	261,594	254,303	-24,394	231,600	-105,031	-468,750	163,000	219,021	171,594
164	245,682	0,000	66,488	262,078	252,096	-23,069	231,937	-98,780	-468,750	164,000	220,761	172,078
165	244,326	0,000	62,217	262,565	250,006	-21,725	232,249	-92,541	-468,750	165,000	222,399	172,565
166	243,054	0,000	57,968	263,052	248,038	-20,364	232,536	-86,314	-468,750	166,000	223,934	173,052
167	241,867	0,000	53,739	263,542	246,194	-18,986	232,800	-80,098	-468,750	167,000	225,366	173,542
168	240,765	0,000	49,530	264,033	244,476	-17,593	233,041	-73,892	-468,750	168,000	226,693	174,033
169	239,749	0,000	45,338	264,525	242,886	-16,184	233,261	-67,697	-468,750	169,000	227,916	174,525
170	238,820	0,000	41,163	265,019	241,427	-14,761	233,459	-61,512	-468,750	170,000	229,034	175,019
171	237,978	0,000	37,003	265,514	240,100	-13,325	233,637	-55,335	-468,750	171,000	230,047	175,514
172	237,224	0,000	32,857	266,010	238,908	-11,876	233,794	-49,166	-468,750	172,000	230,954	176,010
173	236,557	0,000	28,723	266,507	237,852	-10,417	233,932	-43,004	-468,750	173,000	231,755	176,507

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_2+90			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
174	235,979	0,000	24,600	267,004	236,934	-8,947	234,051	-36,849	-468,750	174,000	232,449	177,004
175	235,490	0,000	20,485	267,502	236,154	-7,469	234,150	-30,699	-468,750	175,000	233,037	177,502
176	235,089	0,000	16,379	268,001	235,515	-5,984	234,232	-24,554	-468,750	176,000	233,519	178,001
177	234,776	0,000	12,279	268,501	235,017	-4,493	234,294	-18,412	-468,750	177,000	233,893	178,501
178	234,553	0,000	8,183	269,000	234,660	-2,998	234,339	-12,273	-468,750	178,000	234,161	179,000
179	234,420	0,000	4,091	269,500	234,446	-1,500	234,366	-6,136	-468,750	179,000	234,321	179,500
180	234,375	0,000	0,000	270,000	234,375	0,000	234,375	0,000	-468,750	180,000	234,375	180,000
181	234,420	0,000	-4,091	270,500	234,446	1,500	234,366	6,136	-468,750	181,000	234,321	180,500
182	234,553	0,000	-8,183	271,000	234,660	2,998	234,339	12,273	-468,750	182,000	234,161	181,000
183	234,776	0,000	-12,279	271,499	235,017	4,493	234,294	18,412	-468,750	183,000	233,893	181,499
184	235,089	0,000	-16,379	271,999	235,515	5,984	234,232	24,554	-468,750	184,000	233,519	181,999
185	235,490	0,000	-20,485	272,498	236,154	7,469	234,150	30,699	-468,750	185,000	233,037	182,498
186	235,979	0,000	-24,600	272,996	236,934	8,947	234,051	36,849	-468,750	186,000	232,449	182,996
187	236,557	0,000	-28,723	273,493	237,852	10,417	233,932	43,004	-468,750	187,000	231,755	183,493
188	237,224	0,000	-32,857	273,990	238,908	11,876	233,794	49,166	-468,750	188,000	230,954	183,990
189	237,978	0,000	-37,003	274,486	240,100	13,325	233,637	55,335	-468,750	189,000	230,047	184,486
190	238,820	0,000	-41,163	274,981	241,427	14,761	233,459	61,512	-468,750	190,000	229,034	184,981
191	239,749	0,000	-45,338	275,475	242,886	16,184	233,261	67,697	-468,750	191,000	227,916	185,475
192	240,765	0,000	-49,530	275,967	244,476	17,593	233,041	73,892	-468,750	192,000	226,693	185,967
193	241,867	0,000	-53,739	276,458	246,194	18,986	232,800	80,098	-468,750	193,000	225,366	186,458
194	243,054	0,000	-57,968	276,948	248,038	20,364	232,536	86,314	-468,750	194,000	223,934	186,948
195	244,326	0,000	-62,217	277,435	250,006	21,725	232,249	92,541	-468,750	195,000	222,399	187,435
196	245,682	0,000	-66,488	277,922	252,096	23,069	231,937	98,780	-468,750	196,000	220,761	187,922
197	247,121	0,000	-70,781	278,406	254,303	24,394	231,600	105,031	-468,750	197,000	219,021	188,406
198	248,642	0,000	-75,099	278,888	256,627	25,702	231,237	111,296	-468,750	198,000	217,179	188,888
199	250,244	0,000	-79,442	279,369	259,063	26,990	230,847	117,573	-468,750	199,000	215,236	189,369

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
200	251,927	0,000	-83,810	279,847	261,609	28,260	230,428	123,864	-468,750	200,000	213,193	189,847
201	253,688	0,000	-88,206	280,322	264,263	29,510	229,981	130,168	-468,750	201,000	211,051	190,322
202	255,527	0,000	-92,630	280,795	267,020	30,740	229,502	136,486	-468,750	202,000	208,811	190,795
203	257,442	0,000	-97,082	281,266	269,878	31,951	228,992	142,817	-468,750	203,000	206,473	191,266
204	259,431	0,000	-101,564	281,734	272,833	33,142	228,448	149,163	-468,750	204,000	204,040	191,734
205	261,492	0,000	-106,076	282,199	275,883	34,313	227,870	155,521	-468,750	205,000	201,512	192,199
206	263,624	0,000	-110,618	282,661	279,024	35,465	227,256	161,893	-468,750	206,000	198,890	192,661
207	265,825	0,000	-115,192	283,120	282,252	36,598	226,603	168,277	-468,750	207,000	196,177	193,120
208	268,092	0,000	-119,796	283,576	285,564	37,711	225,912	174,673	-468,750	208,000	193,373	193,576
209	270,423	0,000	-124,432	284,029	288,957	38,805	225,179	181,081	-468,750	209,000	190,480	194,029
210	272,816	0,000	-129,099	284,478	292,426	39,880	224,403	187,500	-468,750	210,000	187,500	194,478
211	275,266	0,000	-133,798	284,923	295,969	40,937	223,583	193,929	-468,750	211,000	184,435	194,923
212	277,772	0,000	-138,529	285,365	299,581	41,976	222,716	200,366	-468,750	212,000	181,286	195,365
213	280,331	0,000	-143,290	285,802	303,259	42,997	221,800	206,811	-468,750	213,000	178,056	195,802
214	282,938	0,000	-148,081	286,236	306,999	44,001	220,833	213,263	-468,750	214,000	174,747	196,236
215	285,590	0,000	-152,902	286,666	310,797	44,988	219,814	219,719	-468,750	215,000	171,362	196,666
216	288,282	0,000	-157,753	287,091	314,648	45,958	218,739	226,179	-468,750	216,000	167,903	197,091
217	291,012	0,000	-162,631	287,512	318,550	46,912	217,607	232,640	-468,750	217,000	164,372	197,512
218	293,773	0,000	-167,536	287,929	322,497	47,851	216,414	239,101	-468,750	218,000	160,772	197,929
219	296,562	0,000	-172,466	288,340	326,485	48,775	215,160	245,558	-468,750	219,000	157,108	198,340
220	299,373	0,000	-177,420	288,747	330,511	49,684	213,841	252,011	-468,750	220,000	153,380	198,747
221	302,201	0,000	-182,397	289,149	334,569	50,579	212,454	258,457	-468,750	221,000	149,594	199,149
222	305,040	0,000	-187,393	289,546	338,655	51,461	210,997	264,892	-468,750	222,000	145,751	199,546
223	307,884	0,000	-192,408	289,938	342,764	52,330	209,467	271,314	-468,750	223,000	141,857	199,938
224	310,726	0,000	-197,438	290,324	346,893	53,187	207,862	277,719	-468,750	224,000	137,915	200,324
225	313,559	0,000	-202,481	290,705	351,034	54,031	206,178	284,105	-468,750	225,000	133,929	200,705

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
226	316,378	0,000	-207,534	291,080	355,185	54,865	204,412	290,469	-468,750	226,000	129,902	201,080
227	319,173	0,000	-212,594	291,449	359,339	55,687	202,562	296,805	-468,750	227,000	125,840	201,449
228	321,938	0,000	-217,658	291,813	363,492	56,500	200,624	303,111	-468,750	228,000	121,747	201,813
229	324,663	0,000	-222,721	292,170	367,638	57,303	198,596	309,383	-468,750	229,000	117,628	202,170
230	327,342	0,000	-227,781	292,521	371,773	58,097	196,474	315,615	-468,750	230,000	113,487	202,521
231	329,964	0,000	-232,833	292,866	375,889	58,883	194,255	321,804	-468,750	231,000	109,331	202,866
232	332,520	0,000	-237,872	293,204	379,983	59,661	191,935	327,945	-468,750	232,000	105,163	203,204
233	335,001	0,000	-242,895	293,536	384,049	60,432	189,512	334,033	-468,750	233,000	100,989	203,536
234	337,396	0,000	-247,896	293,860	388,080	61,196	186,982	340,064	-468,750	234,000	96,816	203,860
235	339,697	0,000	-252,870	294,178	392,071	61,954	184,342	346,031	-468,750	235,000	92,649	204,178
236	341,891	0,000	-257,812	294,489	396,016	62,707	181,589	351,929	-468,750	236,000	88,494	204,489
237	343,967	0,000	-262,716	294,793	399,909	63,455	178,718	357,753	-468,750	237,000	84,356	204,793
238	345,916	0,000	-267,577	295,089	403,746	64,199	175,727	363,497	-468,750	238,000	80,243	205,089
239	347,725	0,000	-272,389	295,378	407,518	64,940	172,613	369,156	-468,750	239,000	76,161	205,378
240	349,382	0,000	-277,145	295,659	411,222	65,677	169,371	374,723	-468,750	240,000	72,115	205,659
241	350,876	0,000	-281,839	295,932	414,851	66,413	165,999	380,191	-468,750	241,000	68,114	205,932
242	352,194	0,000	-286,464	296,198	418,399	67,147	162,494	385,556	-468,750	242,000	64,162	206,198
243	353,323	0,000	-291,015	296,456	421,860	67,880	158,851	390,810	-468,750	243,000	60,268	206,456
244	354,253	0,000	-295,483	296,705	425,230	68,613	155,069	395,947	-468,750	244,000	56,438	206,705
245	354,969	0,000	-299,862	296,946	428,502	69,346	151,143	400,960	-468,750	245,000	52,678	206,946
246	355,459	0,000	-304,146	297,179	431,671	70,080	147,071	405,844	-468,750	246,000	48,996	207,179
247	355,712	0,000	-308,325	297,403	434,732	70,817	142,850	410,592	-468,750	247,000	45,399	207,403
248	355,713	0,000	-312,395	297,619	437,680	71,555	138,477	415,196	-468,750	248,000	41,894	207,619
249	355,451	0,000	-316,347	297,826	440,510	72,297	133,949	419,651	-468,750	249,000	38,486	207,826
250	354,913	0,000	-320,174	298,024	443,219	73,043	129,264	423,950	-468,750	250,000	35,184	208,024
251	354,087	0,000	-323,870	298,214	445,801	73,794	124,418	428,087	-468,750	251,000	31,993	208,214

	R _A	θ _A	B/R ₂	θ _B	R _C	θ _C			-R ₃ ω ₃ ²	θ ₃	R ₂ ω ₂ ²	θ ₂
	R'' ₁	θ ₁	α ₂	θ ₂₊₉₀			Re (C)	Im (C)	C ₃	θ _{C3}	C ₂	θ _{C2}
Posición												
252	352,961	0,000	-327,426	298,394	448,253	74,550	119,410	432,055	-468,750	252,000	28,921	208,394
253	351,523	0,000	-330,836	298,565	450,571	75,313	114,238	435,849	-468,750	253,000	25,973	208,565
254	349,763	0,000	-334,094	298,727	452,754	76,082	108,899	439,462	-468,750	254,000	23,156	208,727
255	347,668	0,000	-337,192	298,879	454,797	76,860	103,392	442,888	-468,750	255,000	20,476	208,879
256	345,230	0,000	-340,124	299,022	456,699	77,646	97,714	446,123	-468,750	256,000	17,939	209,022
257	342,437	0,000	-342,884	299,156	458,458	78,441	91,865	449,160	-468,750	257,000	15,551	209,156
258	339,280	0,000	-345,465	299,280	460,073	79,246	85,843	451,994	-468,750	258,000	13,317	209,280
259	335,751	0,000	-347,863	299,394	461,545	80,063	79,648	454,620	-468,750	259,000	11,241	209,394
260	331,842	0,000	-350,071	299,499	462,872	80,891	73,278	457,035	-468,750	260,000	9,329	209,499
261	327,545	0,000	-352,084	299,594	464,056	81,732	66,733	459,233	-468,750	261,000	7,586	209,594
262	322,854	0,000	-353,899	299,679	465,098	82,586	60,012	461,210	-468,750	262,000	6,014	209,679
263	317,762	0,000	-355,511	299,754	466,001	83,455	53,117	462,964	-468,750	263,000	4,618	209,754
264	312,266	0,000	-356,916	299,819	466,767	84,339	46,046	464,490	-468,750	264,000	3,402	209,819
265	306,361	0,000	-358,110	299,874	467,400	85,238	38,801	465,787	-468,750	265,000	2,368	209,874
266	300,045	0,000	-359,091	299,919	467,905	86,154	31,383	466,851	-468,750	266,000	1,518	209,919
267	293,314	0,000	-359,856	299,955	468,285	87,088	23,792	467,681	-468,750	267,000	0,855	209,955
268	286,168	0,000	-360,405	299,980	468,549	88,039	16,030	468,274	-468,750	268,000	0,380	209,980
269	278,608	0,000	-360,734	299,995	468,701	89,010	8,098	468,631	-468,750	269,000	0,095	209,995
270	270,633	0,000	-360,844	300,000	468,750	90,000	0,000	468,750	-468,750	270,000	0,000	210,000
271	262,246	0,000	-360,734	299,995	468,704	91,010	-8,263	468,631	-468,750	271,000	0,095	209,995
272	253,450	0,000	-360,405	299,980	468,572	92,041	-16,689	468,274	-468,750	272,000	0,380	209,980
273	244,249	0,000	-359,856	299,955	468,363	93,093	-25,273	467,681	-468,750	273,000	0,855	209,955
274	234,648	0,000	-359,091	299,919	468,088	94,167	-34,014	466,851	-468,750	274,000	1,518	209,919
275	224,653	0,000	-358,110	299,874	467,759	95,263	-42,907	465,787	-468,750	275,000	2,368	209,874
276	214,271	0,000	-356,916	299,819	467,386	96,382	-51,949	464,490	-468,750	276,000	3,402	209,819
277	203,510	0,000	-355,511	299,754	466,983	97,523	-61,136	462,964	-468,750	277,000	4,618	209,754

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
278	192,379	0,000	-353,899	299,679	466,562	98,686	-70,462	461,210	-468,750	278,000	6,014	209,679
279	180,888	0,000	-352,084	299,594	466,136	99,873	-79,925	459,233	-468,750	279,000	7,586	209,594
280	169,047	0,000	-350,071	299,499	465,719	101,082	-89,517	457,035	-468,750	280,000	9,329	209,499
281	156,868	0,000	-347,863	299,394	465,325	102,314	-99,236	454,620	-468,750	281,000	11,241	209,394
282	144,363	0,000	-345,465	299,280	464,968	103,567	-109,074	451,994	-468,750	282,000	13,317	209,280
283	131,545	0,000	-342,884	299,156	464,663	104,842	-119,027	449,160	-468,750	283,000	15,551	209,156
284	118,428	0,000	-340,124	299,022	464,424	106,138	-129,088	446,123	-468,750	284,000	17,939	209,022
285	105,025	0,000	-337,192	298,879	464,264	107,454	-139,251	442,888	-468,750	285,000	20,476	208,879
286	91,353	0,000	-334,094	298,727	464,199	108,789	-149,511	439,462	-468,750	286,000	23,156	208,727
287	77,425	0,000	-330,836	298,565	464,241	110,142	-159,861	435,849	-468,750	287,000	25,973	208,565
288	63,257	0,000	-327,426	298,394	464,404	111,512	-170,293	432,055	-468,750	288,000	28,921	208,394
289	48,867	0,000	-323,870	298,214	464,702	112,897	-180,802	428,087	-468,750	289,000	31,993	208,214
290	34,269	0,000	-320,174	298,024	465,145	114,295	-191,380	423,950	-468,750	290,000	35,184	208,024
291	19,481	0,000	-316,347	297,826	465,746	115,706	-202,021	419,651	-468,750	291,000	38,486	207,826
292	4,519	0,000	-312,395	297,619	466,515	117,127	-212,717	415,196	-468,750	292,000	41,894	207,619
293	-10,599	0,000	-308,325	297,403	467,461	118,557	-223,460	410,592	-468,750	293,000	45,399	207,403
294	-25,856	0,000	-304,146	297,179	468,593	119,993	-234,244	405,844	-468,750	294,000	48,996	207,179
295	-41,236	0,000	-299,862	296,946	469,920	121,433	-245,061	400,960	-468,750	295,000	52,678	206,946
296	-56,720	0,000	-295,483	296,705	471,445	122,875	-255,904	395,947	-468,750	296,000	56,438	206,705
297	-72,293	0,000	-291,015	296,456	473,176	124,317	-266,765	390,810	-468,750	297,000	60,268	206,456
298	-87,936	0,000	-286,464	296,198	475,116	125,757	-277,636	385,556	-468,750	298,000	64,162	206,198
299	-103,633	0,000	-281,839	295,932	477,266	127,193	-288,510	380,191	-468,750	299,000	68,114	205,932
300	-119,368	0,000	-277,145	295,659	479,630	128,623	-299,379	374,723	-468,750	300,000	72,115	205,659
301	-135,123	0,000	-272,389	295,378	482,206	130,043	-310,236	369,156	-468,750	301,000	76,161	205,378
302	-150,883	0,000	-267,577	295,089	484,992	131,454	-321,072	363,497	-468,750	302,000	80,243	205,089
303	-166,632	0,000	-262,716	294,793	487,988	132,852	-331,881	357,753	-468,750	303,000	84,356	204,793

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
304	-182,353	0,000	-257,812	294,489	491,189	134,235	-342,655	351,929	-468,750	304,000	88,494	204,489
305	-198,031	0,000	-252,870	294,178	494,589	135,602	-353,386	346,031	-468,750	305,000	92,649	204,178
306	-213,652	0,000	-247,896	293,860	498,184	136,952	-364,066	340,064	-468,750	306,000	96,816	203,860
307	-229,201	0,000	-242,895	293,536	501,967	138,283	-374,689	334,033	-468,750	307,000	100,989	203,536
308	-244,663	0,000	-237,872	293,204	505,928	139,594	-385,247	327,945	-468,750	308,000	105,163	203,204
309	-260,024	0,000	-232,833	292,866	510,061	140,883	-395,733	321,804	-468,750	309,000	109,331	202,866
310	-275,272	0,000	-227,781	292,521	514,356	142,149	-406,139	315,615	-468,750	310,000	113,487	202,521
311	-290,392	0,000	-222,721	292,170	518,802	143,392	-416,459	309,383	-468,750	311,000	117,628	202,170
312	-305,372	0,000	-217,658	291,813	523,390	144,611	-426,686	303,111	-468,750	312,000	121,747	201,813
313	-320,200	0,000	-212,594	291,449	528,108	145,805	-436,811	296,805	-468,750	313,000	125,840	201,449
314	-334,865	0,000	-207,534	291,080	532,944	146,974	-446,830	290,469	-468,750	314,000	129,902	201,080
315	-349,353	0,000	-202,481	290,705	537,887	148,117	-456,735	284,105	-468,750	315,000	133,929	200,705
316	-363,655	0,000	-197,438	290,324	542,926	149,235	-466,519	277,719	-468,750	316,000	137,915	200,324
317	-377,761	0,000	-192,408	289,938	548,047	150,327	-476,177	271,314	-468,750	317,000	141,857	199,938
318	-391,658	0,000	-187,393	289,546	553,239	151,393	-485,701	264,892	-468,750	318,000	145,751	199,546
319	-405,339	0,000	-182,397	289,149	558,489	152,433	-495,086	258,457	-468,750	319,000	149,594	199,149
320	-418,793	0,000	-177,420	288,747	563,786	153,449	-504,326	252,011	-468,750	320,000	153,380	198,747
321	-432,012	0,000	-172,466	288,340	569,116	154,439	-513,414	245,558	-468,750	321,000	157,108	198,340
322	-444,987	0,000	-167,536	287,929	574,468	155,404	-522,346	239,101	-468,750	322,000	160,772	197,929
323	-457,709	0,000	-162,631	287,512	579,831	156,345	-531,114	232,640	-468,750	323,000	164,372	197,512
324	-470,171	0,000	-157,753	287,091	585,191	157,263	-539,715	226,179	-468,750	324,000	167,903	197,091
325	-482,365	0,000	-152,902	286,666	590,538	158,157	-548,141	219,719	-468,750	325,000	171,362	196,666
326	-494,285	0,000	-148,081	286,236	595,861	159,028	-556,389	213,263	-468,750	326,000	174,747	196,236
327	-505,923	0,000	-143,290	285,802	601,148	159,878	-564,454	206,811	-468,750	327,000	178,056	195,802
328	-517,273	0,000	-138,529	285,365	606,389	160,705	-572,329	200,366	-468,750	328,000	181,286	195,365
329	-528,328	0,000	-133,798	284,923	611,573	161,512	-580,011	193,929	-468,750	329,000	184,435	194,923

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_{2+90}			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
330	-539,083	0,000	-129,099	284,478	616,691	162,299	-587,496	187,500	-468,750	330,000	187,500	194,478
331	-549,533	0,000	-124,432	284,029	621,732	163,067	-594,777	181,081	-468,750	331,000	190,480	194,029
332	-559,671	0,000	-119,796	283,576	626,687	163,816	-601,852	174,673	-468,750	332,000	193,373	193,576
333	-569,493	0,000	-115,192	283,120	631,547	164,547	-608,715	168,277	-468,750	333,000	196,177	193,120
334	-578,995	0,000	-110,618	282,661	636,303	165,260	-615,364	161,893	-468,750	334,000	198,890	192,661
335	-588,171	0,000	-106,076	282,199	640,948	165,957	-621,793	155,521	-468,750	335,000	201,512	192,199
336	-597,018	0,000	-101,564	281,734	645,472	166,639	-628,001	149,163	-468,750	336,000	204,040	191,734
337	-605,532	0,000	-97,082	281,266	649,869	167,305	-633,981	142,817	-468,750	337,000	206,473	191,266
338	-613,708	0,000	-92,630	280,795	654,130	167,957	-639,733	136,486	-468,750	338,000	208,811	190,795
339	-621,543	0,000	-88,206	280,322	658,250	168,595	-645,251	130,168	-468,750	339,000	211,051	190,322
340	-629,035	0,000	-83,810	279,847	662,221	169,220	-650,533	123,864	-468,750	340,000	213,193	189,847
341	-636,179	0,000	-79,442	279,369	666,036	169,832	-655,577	117,573	-468,750	341,000	215,236	189,369
342	-642,973	0,000	-75,099	278,888	669,691	170,434	-660,379	111,296	-468,750	342,000	217,179	188,888
343	-649,415	0,000	-70,781	278,406	673,180	171,024	-664,936	105,031	-468,750	343,000	219,021	188,406
344	-655,501	0,000	-66,488	277,922	676,497	171,604	-669,246	98,780	-468,750	344,000	220,761	187,922
345	-661,230	0,000	-62,217	277,435	679,637	172,174	-673,307	92,541	-468,750	345,000	222,399	187,435
346	-666,598	0,000	-57,968	276,948	682,595	172,736	-677,116	86,314	-468,750	346,000	223,934	186,948
347	-671,605	0,000	-53,739	276,458	685,368	173,289	-680,672	80,098	-468,750	347,000	225,366	186,458
348	-676,248	0,000	-49,530	275,967	687,952	173,834	-683,972	73,892	-468,750	348,000	226,693	185,967
349	-680,526	0,000	-45,338	275,475	690,342	174,372	-687,014	67,697	-468,750	349,000	227,916	185,475
350	-684,437	0,000	-41,163	274,981	692,535	174,904	-689,798	61,512	-468,750	350,000	229,034	184,981
351	-687,980	0,000	-37,003	274,486	694,529	175,430	-692,321	55,335	-468,750	351,000	230,047	184,486
352	-691,152	0,000	-32,857	273,990	696,320	175,951	-694,582	49,166	-468,750	352,000	230,954	183,990
353	-693,955	0,000	-28,723	273,493	697,906	176,467	-696,580	43,004	-468,750	353,000	231,755	183,493
354	-696,385	0,000	-24,600	272,996	699,285	176,979	-698,314	36,849	-468,750	354,000	232,449	182,996
355	-698,443	0,000	-20,485	272,498	700,455	177,488	-699,782	30,699	-468,750	355,000	233,037	182,498

	R_A	θ_A	B/R_2	θ_B	R_C	θ_C			$-R_3\omega_3^2$	θ_3	$R_2\omega_2^2$	θ_2
	R''_1	θ_1	α_2	θ_2+90			Re (C)	Im (C)	C_3	θ_{C3}	C_2	θ_{C2}
Posición												
356	-700,128	0,000	-16,379	271,999	701,415	177,994	-700,985	24,554	-468,750	356,000	233,519	181,999
357	-701,439	0,000	-12,279	271,499	702,162	178,497	-701,921	18,412	-468,750	357,000	233,893	181,499
358	-702,375	0,000	-8,183	271,000	702,697	178,999	-702,590	12,273	-468,750	358,000	234,161	181,000
359	-702,938	0,000	-4,091	270,500	703,018	179,500	-702,991	6,136	-468,750	359,000	234,321	180,500
360	-703,125	0,000	0,000	270,000	703,125	180,000	-703,125	0,000	-468,750	360,000	234,375	180,000

A modo de aclaración, las casillas que aparece en verde son las soluciones obtenidas y en azul aparece el grado de libertad que determina la solución del mecanismo. En cuanto a las dos posiciones que aparecen destacadas en amarillo, marcan el inicio de carrera de trabajo (posición 284) y el punto de fuerza (posición 350).

A modo de validación, para la posición del punto de fuerza de la prensa se va a aplicar el método matricial para la resolución de las ecuaciones de la cinemática. Partiendo de la ecuación de velocidad, se ha descompuesto en parte real e imaginaria y se han montado las matrices de las siguientes ecuaciones:

$$[E]\{x'\} = \{b'\} \rightarrow \{x'\} = [E]^{-1}\{b'\}$$

Para calcular las aceleraciones, una vez derivada la expresión anterior se sigue el mismo procedimiento. La ecuación resultante es la siguiente:

$$[E']\{x'\} + [E]\{x''\} = \{b''\} \rightarrow \{x''\} = [E]^{-1}\{b'' - [E']\{x'\}\}$$

En caso de haber hecho bien el procedimiento, se obtendrían las mismas soluciones en $\{x'\}$ y en $\{x''\}$ que, en el método matricial, quedando comprobado el cálculo.

Matriz E

1	1	0,130
2	0	-1,494
	1	2

Vector b'

1,302
7,386

Vector x'

R'1	1,946
ω_2	-4,943

ACELERACIONES

Matriz E punto

1	0	-7,386
2	0	-0,644
	1	2

Vector b''

-73,861
13,024

Vector x''

R''1	-109,510
α_2	-6,586

El siguiente paso sería el cálculo de fuerzas para la posición del punto de fuerza. Para ello, en cada una de las barras que forman el mecanismo, se aplica la ley de acción – reacción y se proponen tantas ecuaciones como sean necesarias. Una vez todas las ecuaciones planteadas, se despeja la siguiente ecuación matricial.

$$[G]\{f\} = \{e\} \rightarrow \{f\} = [G]^{-1}\{e\}$$

$$F_{24} \cos\theta_2 = F$$

$$F_{24} \sin\theta_2 + F_{14} = 0$$

$$F_{24} - F_{42} = 0$$

$$F_{42} - F_{32} = 0$$

$$F_{32} - F_{23} = 0$$

$$F_{13x} + F_{23} \cos\theta_3 = 0$$

$$F_{13y} + F_{23} \sin\theta_3 = 0$$

$$F_{23} \sin\theta_2 R_2 \cos\theta_3 - F_{32} \cos\theta_2 R_2 \sin\theta_3 + T_3 = 0$$

Matriz G

	F24	F42	F32	F23	F14Y	F13X	F13Y	T3
1	0,997	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,078	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
3	1,000	-1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	1,000	-1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	1,000	-1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	-0,997	0,000	1,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	-0,078	0,000	0,000	1,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	-0,175	0,000	0,000	0,000	1,000

		Vector F		Vector e
Par nominal	F24	2006146	=	2000000
	F42	2006146		0
	F32	2006146		0
	F23	2006146		0
	F14Y	-156915		0
	F13X	2000000		0
	F13Y	156915,2		0
	T3	350889,2		0

Ilustración 8 Matrices utilizadas para el cálculo de las fuerzas

A modo de comprobación, se pueden calcular los sumatorios de fuerzas en los ejes X e Y así como el sumatorio de momentos. Si los cálculos son correctos, el resultado será 0 en los tres casos.

La resolución del problema dinámico en el punto de fuerza permite obtener el par nominal que debe transmitir el cigüeñal, así como las fuerzas que soportan la biela y la manivela.

Por último, partiendo del punto de fuerza, se van a obtener las gráficas que corresponden a la carrera de trabajo de la prensa. Para ello, desde el PMS hasta el punto de fuerza, se considera que la prensa trabaja a par constante y desde el punto de fuerza hasta el PMI, la prensa trabajará a fuerza constante.

La formulación utilizada para obtener estos datos ha sido la siguiente:

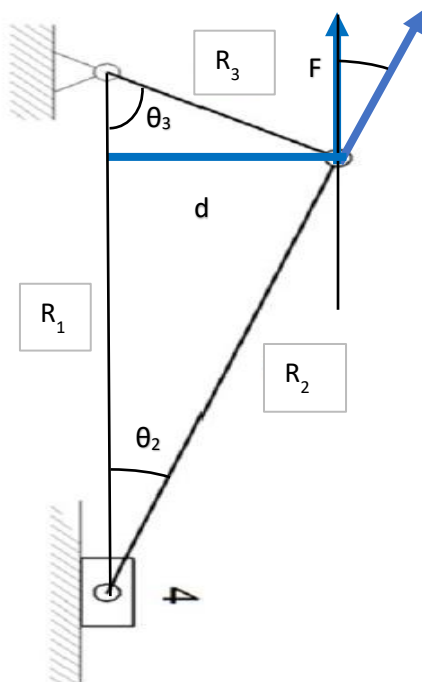


Ilustración 9 Fuerzas obtenidas del mecanismo biela – manivela.

$$F = F_{32} * \cos \theta_3 * CS$$

$$d = R_2 * \sen \theta_2 = R_3 * \sen \theta_3$$

$$T = F * d$$

Siendo CS el coeficiente de seguridad, en este caso, se ha considerado mayorar la carga con un valor de 1,75.

Los resultados fueron los siguientes:

DATOS

Par nominal	350889,183	Par cte
Fuerza Nominal	3500000	Fuerza cte

Nº posición [º]	Posición		Distancia [m]	Fuerza [N]	Par [N*m]
284	1,493		0,728	482174,9	350889,183
285	1,508		0,724	484356,3	350889,183
286	1,522		0,721	486706,4	350889,183
287	1,537		0,717	489229,2	350889,183
288	1,551		0,713	491929,0	350889,183
289	1,566		0,709	494810,2	350889,183
290	1,581		0,705	497878,0	350889,183
291	1,595		0,700	501137,6	350889,183
292	1,610		0,695	504594,9	350889,183
293	1,625		0,690	508256,1	350889,183
294	1,639		0,685	512128,0	350889,183
295	1,654		0,680	516217,8	350889,183
296	1,669		0,674	520533,3	350889,183
297	1,683		0,668	525082,8	350889,183
298	1,698		0,662	529875,4	350889,183
299	1,713		0,656	534920,8	350889,183
300	1,727		0,650	540229,2	350889,183
301	1,742		0,643	545812,1	350889,183
302	1,756		0,636	551681,3	350889,183
303	1,770		0,629	557849,8	350889,183
304	1,784		0,622	564331,8	350889,183
305	1,799		0,614	571142,1	350889,183
306	1,813		0,607	578297,2	350889,183
307	1,827		0,599	585814,5	350889,183
308	1,840		0,591	593713,0	350889,183
309	1,854		0,583	602013,3	350889,183
310	1,868		0,575	610737,7	350889,183
311	1,881		0,566	619910,3	350889,183
312	1,894		0,557	629557,3	350889,183
313	1,908		0,549	639707,2	350889,183
314	1,921		0,540	650391,2	350889,183
315	1,933		0,530	661643,0	350889,183
316	1,946		0,521	673499,8	350889,183
317	1,959		0,511	686002,0	350889,183
318	1,971		0,502	699194,2	350889,183
319	1,983		0,492	713125,2	350889,183
320	1,995		0,482	727848,9	350889,183
321	2,007		0,472	743424,6	350889,183
322	2,018		0,462	759918,0	350889,183
323	2,029		0,451	777402,1	350889,183
324	2,041		0,441	795957,8	350889,183
325	2,051		0,430	815675,5	350889,183
326	2,062		0,419	836656,3	350889,183
327	2,072		0,408	859013,4	350889,183
328	2,082		0,397	882874,6	350889,183

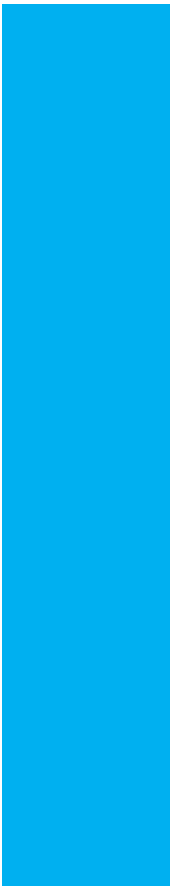

Nº posición [º]	Posición		Distancia [m]	Fuerza [N]	Par [N*m]
329	2,092		0,386	908383,8	350889,183
330	2,102		0,375	935704,5	350889,183
331	2,111		0,364	965022,6	350889,183
332	2,120		0,352	996550,8	350889,183
333	2,129		0,340	1030533,1	350889,183
334	2,138		0,329	1067251,5	350889,183
335	2,146		0,317	1107032,7	350889,183
336	2,154		0,305	1150258,4	350889,183
337	2,161		0,293	1197376,4	350889,183
338	2,169		0,281	1248916,2	350889,183
339	2,176		0,269	1305508,1	350889,183
340	2,183		0,257	1367908,4	350889,183
341	2,189		0,244	1437033,2	350889,183
342	2,195		0,232	1514001,7	350889,183
343	2,201		0,219	1600196,7	350889,183
344	2,207		0,207	1697347,0	350889,183
345	2,212		0,194	1807642,3	350889,183
346	2,217		0,181	1933897,9	350889,183
347	2,221		0,169	2079795,7	350889,183
348	2,225		0,156	2250245,0	350889,183
349	2,229		0,143	2451940,2	350889,183
350	2,233		0,130	2694253,7	350889,183
351	2,236		0,117	2990723,6	350889,183
352	2,239		0,104	3500000	350889,183
353	2,242		0,091	3500000	319907,026
354	2,244		0,078	3500000	274387,216
355	2,246		0,065	3500000	228783,825
356	2,247		0,052	3500000	183110,744
357	2,248		0,039	3500000	137381,885
358	2,249		0,026	3500000	91611,179
359	2,250		0,013	3500000	45812,567
360	2,250		0,000	3500000	0,000

Ilustración 10 Datos necesarios para obtener las gráficas de la fuerza y el par a lo largo de la carrera de trabajo

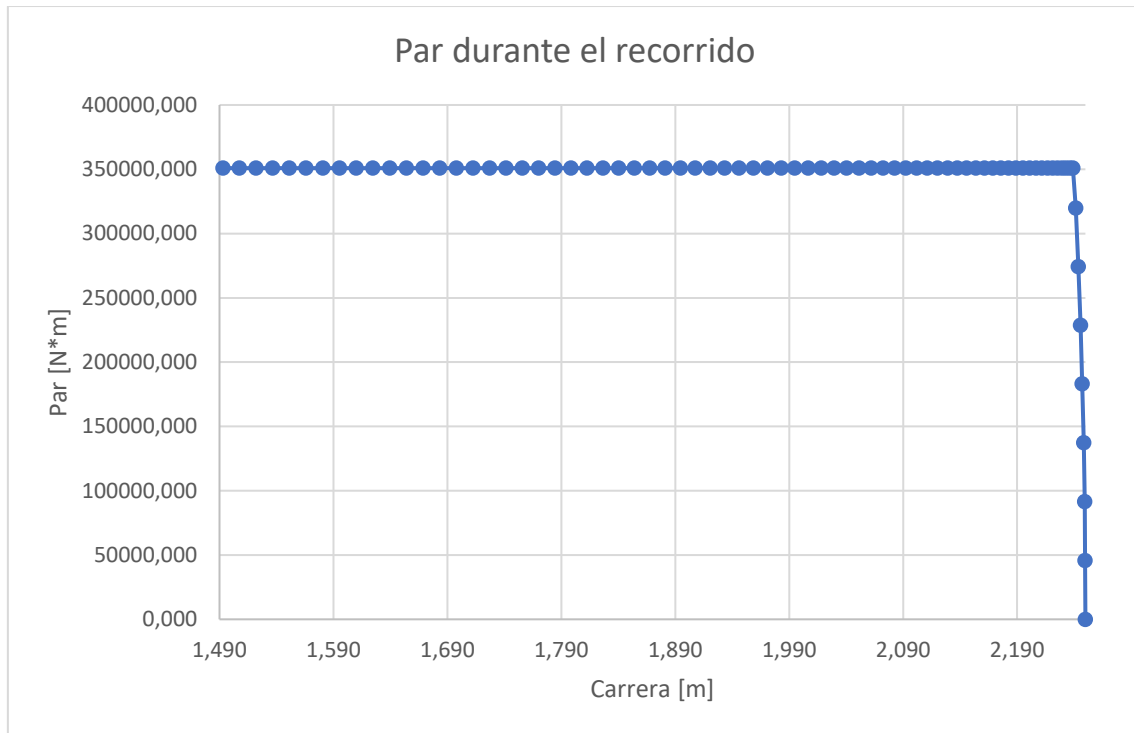


Ilustración 11 Gráfica del par durante la carrera de trabajo.

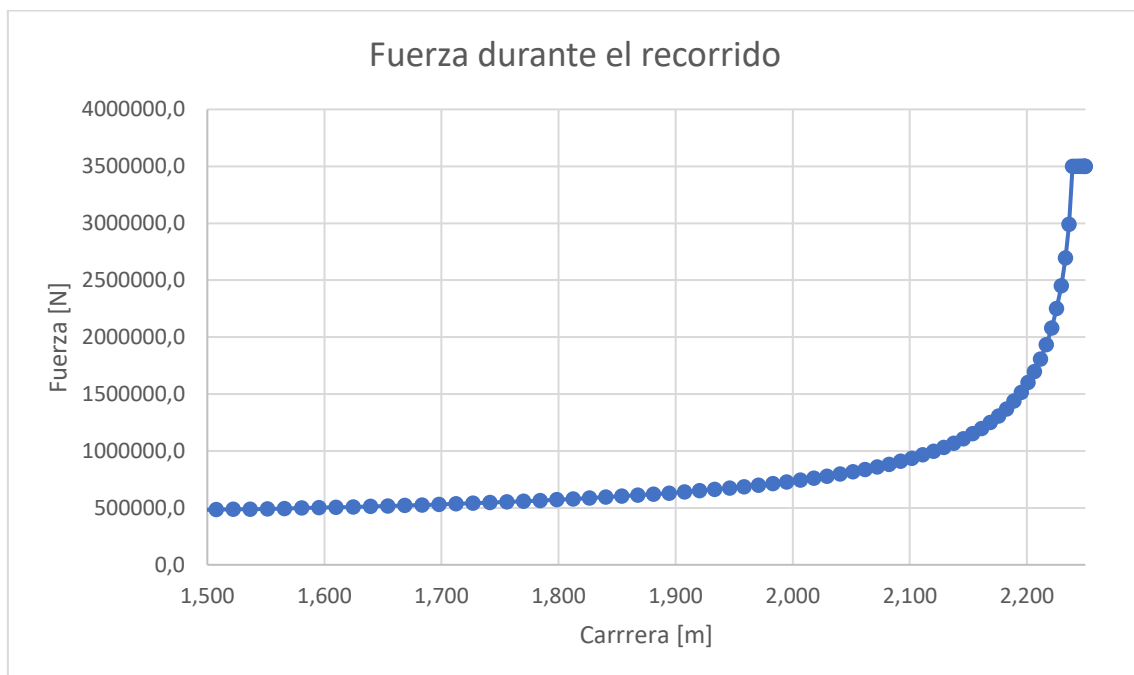


Ilustración 12 Gráfica de la fuerza durante la carrera de trabajo.

1.2 Diseño de la transmisión y cálculo de componentes.

1.2.1 Cálculo de transmisión por engranajes

La transmisión desde el motor hasta el eje del cigüeñal se va a realizar mediante engranajes helicoidales. Se ha probado con engranajes desde módulo 2,5 hasta 20. Finalmente, se ha considerado que lo más eficiente es un módulo 10. Los datos de entrada fueron el par nominal y la velocidad angular del cigüeñal (que es la velocidad de la rueda). Además, se han fijado otra serie de parámetros con valores habituales que suelen tomar este tipo de engranajes. Por ejemplo, se ha fijado el ángulo de paso, el ángulo de la hélice, la profundidad de los dientes y la relación de transmisión rueda – piñón.

Tabla 1 Parámetros y datos de entrada

Par nominal	350,89 kN*m	m	20 mm
ω_2	40 rad/s	k	1 Dientes de profundidad completa
ϕ_n	20 °	Z_1	40 dientes
ψ	30 °	m_G	3

Una vez tenemos todos estos datos, se puede determinar la geometría de los engranajes y realizar el cálculo de las fuerzas correspondientes. Antes de mostrar los cálculos, una última consideración para determinar la constante K_V de la fórmula de Lewis. Se ha considerado que el proceso de fabricación de los engranajes se hará mediante un fresado, de manera que la ecuación a utilizar es la siguiente (ecuación 14-6b del Shigley):

$$K_V = \frac{6,1 + v}{6,1}$$

Tabla 2 Características de la transmisión por engranajes helicoidales.

PARÁMETRO	PIÑÓN	RUEDA	UNIDAD
m	10		mm
ϕ_n	20		
ω	30	10	rad/s
Z	40	120	dientes
d	400	1200	mm
d_{ext}	410	1210	mm
d_{int}	387,5	1187,5	mm
Paso circular	31,42		mm
Espesor del diente	15,71		mm
Paso normal	27,21		mm
Paso axial	54,41		mm
Paso diametral	2,54		dientes/plg
Distancia entre centros	800		mm
Ancho de cara	100		mm
ϕ_t	22,8		°

PARÁMETRO	PIÑÓN	RUEDA	UNIDAD
F_t	584,82		kN
F_r	245,83		kN
F_a	337,64		kN
F	431,17		kN
Par motor	116,96		kN*m
Pot motor	3508,89		kW
	4767,516069		CV
γ	0,322	0,422	[-]
σ (sin coeficiente)	1,82	1,39	MPa
v	6,00		m/s
K_v	1,98		[-]
σ	3,60	2,75	MPa

Una vez diseñados tanto el piñón como la corona, se procede a realizar la comprobación según la Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes (en inglés, American Gears Manufacturers Association, más conocida como AGMA). La comprobación se suele realizar de la pieza del material más débil, ante mismo material, el elemento de menores dimensiones, es decir, el piñón. Sin embargo, para calcular coeficientes de seguridad y conocer cuán seguro es el diseño, se comprobarán ambos elementos.

Se deben realizar dos cálculos: por un lado, el cálculo de la resistencia a flexión del diente, y por otro lado, el cálculo a desgaste del engrane. A modo de guía, se utilizarán las guías de cálculo que proporciona el Shigley en las *Figura 14 – 17* para flexión y *Figura 14 – 18* para desgaste.

A continuación, se detallará el cálculo de los coeficientes y las tensiones necesarias y se adjuntarán los resultados obtenidos.

- Cálculo de K_0

En las tablas adjuntadas como guía, se puede observar en la parte de abajo una tabla para calcular los factores de sobrecarga. Al ser una prensa la maquinaria en cuestión, lo más sensato es considerar la máquina impulsada de impacto pesado. El motor eléctrico por su parte es una fuente de potencia uniforme, por lo tanto:

$$K_0 = 1,75$$

- Cálculo de K_v

Haciendo uso de las ecuaciones 14 – 27, 28 y 29 se determina el factor dinámico. Este cálculo requiere la suposición del número de nivel de exactitud en la transmisión Q_v , que se puede considerar igual que el número de calidad. Por lo general, de 3 a 7 se consideran calidades aceptables para engranes comerciales mientras que de 8 a 12 son calidades para aplicaciones de precisión. En este caso, se va a suponer que los engranajes serán de calidad número 7.

$$K_v = \frac{A + \sqrt{200 V^B}}{A}$$

Siendo $A = 50 + 56 (1 - B)$ y $B = 0,25 (12 - Q_v)^{2/3}$.

- Cálculo de K_s

El factor de tamaño refleja la falta de uniformidad de los materiales que pueda provocar las propiedades del material, su cálculo se realiza en base a la siguiente expresión:

$$K_s = 1,192 \left(\frac{F \sqrt{Y}}{P} \right)^{0,0535}$$

Siendo F el ancho de cara, Y el factor de forma de Lewis y P el paso diametral.

- Cálculo de K_m

El factor de distribución de la carga en la cara refleja el hecho de que la carga no se distribuye uniformemente a lo largo de la línea de contacto. Los factores que influyen son muchos y se recogen todos ellos en la siguiente expresión:

$$K_m = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e)$$

Este factor de nuevo requiere una serie de consideraciones. El diente está sin coronar, el ancho es de menos de una pulgada, de manera que $C_{pf} = \frac{F}{10d} - 0,025$, y al tratarse de un engranaje comercial, se pueden obtener las constantes empíricas A, B y C de la *Tabla 14 – 9* del Shigley para aplicarlas directamente a la *Ecuación 14 – 34*.

- Cálculo de K_b

Debido a que el cociente entre espesor de aro debajo del diente (t_R) y profundidad total del diente (h_t) es mayor que 1,2; se considera el factor de espesor de aro igual a 1.

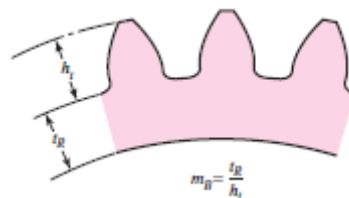


Ilustración 13 Aclaración del cociente usado para calcular el factor de espesor de aro. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

- Cálculo de K_T

El factor de temperatura es 1 dado que no se consideran temperaturas superiores a los 120°C.

- Cálculo de K_R

La confiabilidad estimada para los engranajes ha sido de un 99%, por lo tanto, siguiendo la *Tabla 14 – 10* del Shigley este factor tiene un valor unidad.

- Cálculo de Y_N

El factor de ciclos de esfuerzo repetidamente aplicados de resistencia a la flexión se calculará siguiendo la *Figura 14 – 14* del Shigley. Se debe tener en cuenta que se han estimado un número de ciclos de 10^9 y que como pone en la nota de la ilustración, deben tenerse en cuenta los factores que influyen. Se ha tomado la decisión de elegir la expresión que da en la parte de arriba de la zona sombreada.

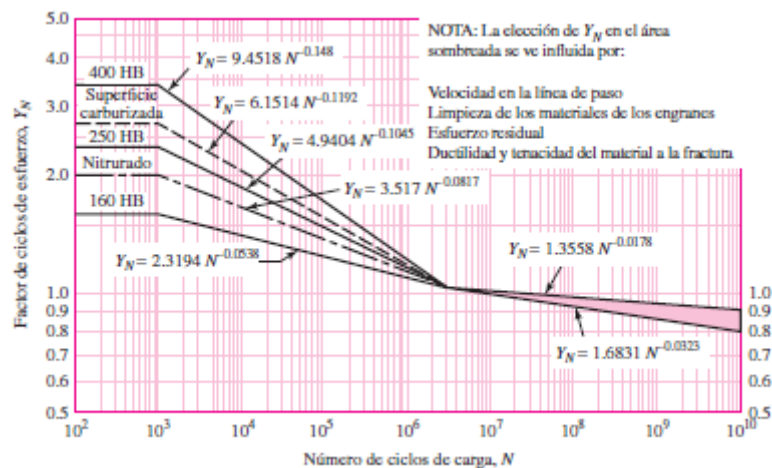


Ilustración 14 Figura base para cálculo de Y_N . Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

- Cálculo de J

Este factor será diferente dependiendo de si se trata del piñón o si se trata de la corona. En primer lugar, se calcula el valor de la *Figura 14 – 6* para engranes rectos. Este valor debe corregirse posteriormente mediante el empleo de la *Figura 14 – 8*. En ambas tablas, se ha recurrido a interpolaciones simples y dobles según procediera para calcular de la manera más precisa posible sendos coeficientes.

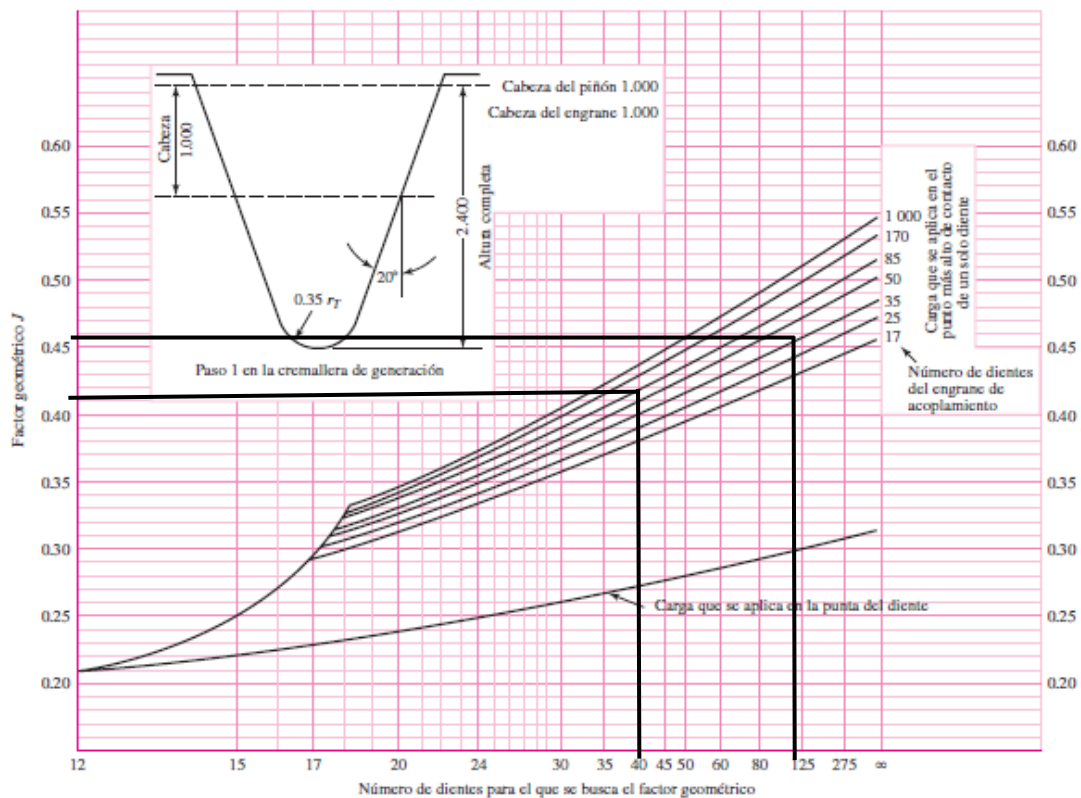


Figura 14-6

Factores geométricos J de engranes rectos. Fuente: La gráfica es de AGMA 218.01, lo que es consistente con los datos tabulares provenientes del actual AGMA 908-B89. La gráfica es adecuada para propósitos de diseño.

Ilustración 15 Cálculo de J para un piñón recto. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

Figura 14-8

Multiplicadores del factor J' para emplearlos con la figura 14-7, para encontrar J . Fuente: La gráfica es de AGMA 218.01, lo que es consistente con los datos tabulares provenientes del actual AGMA 908-B89. La gráfica es adecuada para propósitos de diseño.

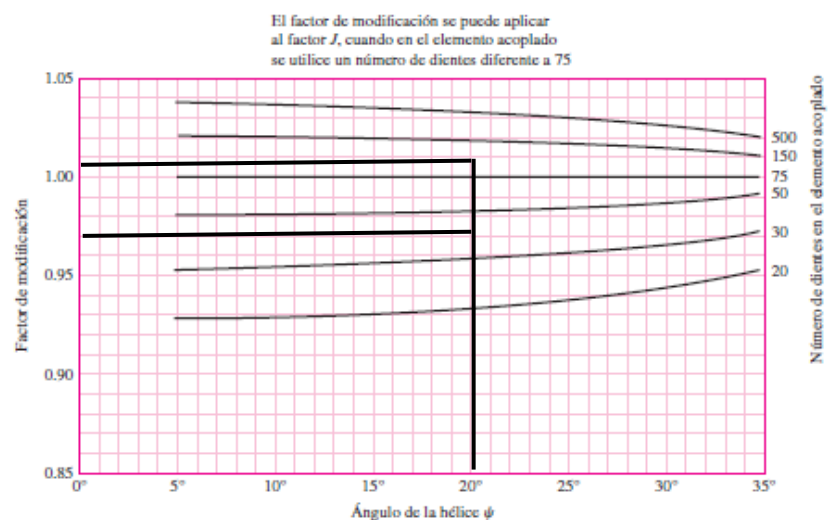


Ilustración 16 Cálculo del factor corrector de J para engranajes helicoidales. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

- Cálculo de S_t

Para calcular la resistencia del material a flexión, se va a suponer que los engranajes van a fabricarse con un acero endurecido completamente de grado 1 con una dureza Brinell de 250 HB. En la *Tabla 14 – 3*, para hallar S_t te remiten a la *Figura 14 – 2*. La expresión proporcionada en unidades SI es la siguiente:

$$S_t = 0,533 H_B + 88,3$$

Cabe puntualizar que el valor calculado es para 10^7 ciclos y una confiabilidad de 0,99. En caso de que alguno de estos supuestos no coincida, se deben corregir con los coeficientes Y_N y K_R .

Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima ¹	Número de esfuerzo de flexión permisible S_t , ² psi		
			Grado 1	Grado 2	Grado 3
Acero ³	Endurecido completamente	Vea la figura 14-2	Vea la figura 14-2	Vea la figura 14-2	—
	Endurecido por flama ⁴ o por inducción ⁴ con patrón del tipo A ⁵	Vea la tabla 8*	45 000	55 000	—
	Endurecido por flama ⁴ o por inducción ⁴ con patrón tipo B ⁵	Vea la tabla 8*	22 000	22 000	—
	Carburizado y endurecido	Vea la tabla 9*	55 000	65 000 o 70 000 ⁶	75 000
	Nitrurado ^{4,7} (aceros endurecidos completamente)	83.5 HR15N	Vea la figura 14-3	Vea la figura 14-3	—
Nitralloy 135M, Nitralloy N y 2.5% de cromo (sin aluminio)	Nitrurado ^{4,7}	87.5 HR15N	Vea la figura 14-4	Vea la figura 14-4	Vea la figura 14-4

Ilustración 17 Resistencia a flexión en función del material de fabricación. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

Figura 14-2

Número de esfuerzo de flexión permisible de aceros completamente endurecidos. Las ecuaciones en unidades SI son $S_t = 0.533H_B + 88.3$ MPa, grado 1 y $S_t = 0.703H_B + 113$ MPa, grado 2. (Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04 y 2101-D04.)

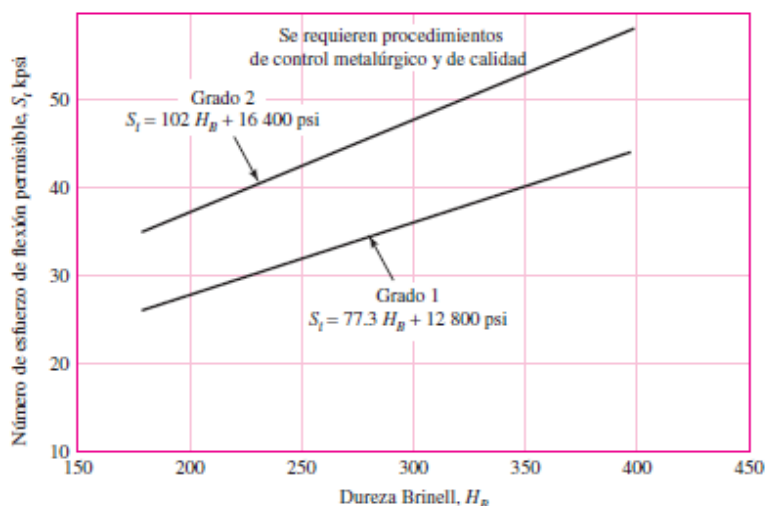


Ilustración 18 Resistencia a flexión para aceros completamente endurecidos. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

- Cálculo de C_p

El coeficiente elástico como cabe esperar depende del material del engranaje, en el caso actual, se ha considerado que los engranajes se fabricarán con acero. Siguiendo la *Tabla 14 – 8* del Shigley, se obtiene que para un coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$ el coeficiente $C_p = 191$ MPa.

- Cálculo de I

Es un factor geométrico aplicable a engranes helicoidales y rectos externos, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{\cos \phi_t \operatorname{sen} \phi_t}{2 m_N} \frac{m_G}{m_G + 1} = \frac{\cos \phi_t \operatorname{sen} \phi_t}{2 p_n \cos \phi_n} \frac{m_G}{m_G + 1}$$

- Cálculo de S_c

De manera análoga al cálculo de S_t , en la *Tabla 14 – 6* se halla la resistencia de contacto para un número de ciclos y confiabilidad determinados para diversos materiales. Esta tabla de nuevo remite a la *Figura 14 – 5* del Shigley, donde se obtiene la siguiente expresión:

$$S_c = 2,22 H_B + 200$$

Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima ¹	Número de esfuerzo de contacto permisible, ² S_c , psi		
			Grado 1	Grado 2	Grado 3
Acero ³	Endurecido ⁴ completamente	Vea la figura 14-5	Vea la figura 14-5	Vea la figura 14-5	—
	Endurecido por flama ⁵	50 HRC	170 000	190 000	—
	o por inducción ⁵	54 HRC	175 000	195 000	—
	Carburizado y endurecido ⁵	Vea la tabla 9*	180 000	225 000	275 000
	Nitruado ⁵ (aceros completamente endurecidos)	83.5 HR15N	150 000	163 000	175 000
		84.5 HR15N	155 000	168 000	180 000
2.5% de cromo (sin aluminio)	Nitruado ⁵	87.5 HR15N	155 000	172 000	189 000
Nitralloy 135M	Nitruado ⁵	90.0 HR15N	170 000	183 000	195 000
Nitralloy N	Nitruado ⁵	90.0 HR15N	172 000	188 000	205 000
2.5% de cromo (sin aluminio)	Nitruado ⁵	90.0 HR15N	176 000	196 000	216 000

Ilustración 19 Cálculo de S_c para 10^7 ciclos y confiabilidad de 0,99. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

Figura 14-5

Resistencia a la fatiga por contacto S_c a 10^7 ciclos y confiabilidad de 0.99 de engranes de acero completamente endurecido. Las ecuaciones en unidades SI son $S_c = 2.22 H_B + 200$ MPa, grado 1 y $S_c = 2.41 H_B + 237$ MPa, grado 2. (Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04 y 2101-D04.)

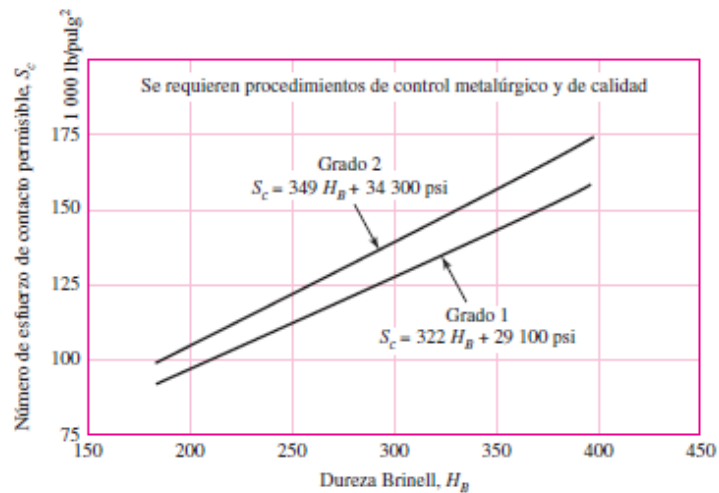


Ilustración 20 Cálculo de S_t para 10^7 ciclos y confiabilidad de 0,99 para aceros completamente endurecidos. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

- Cálculo de Z_N

El factor de ciclos de esfuerzo repetidamente de resistencia a la picadura se calculará siguiendo la Figura 14 – 15 y teniendo en cuenta que se han estimado un número de ciclos de 10^9 .

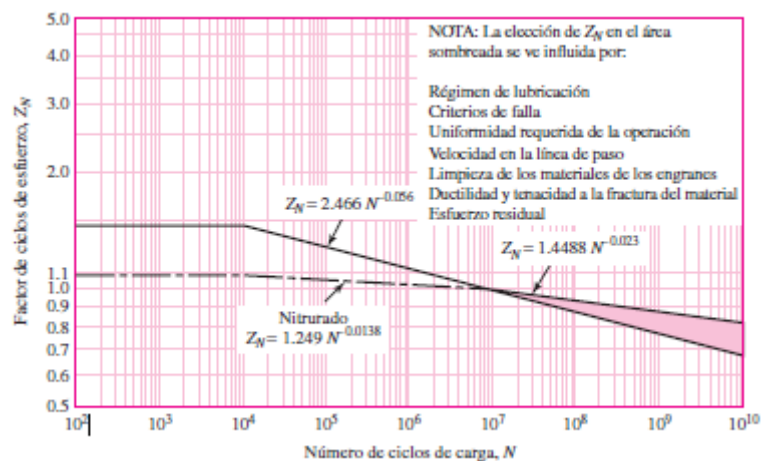


Ilustración 21 Figura base para cálculo de Z_N . Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

- Cálculo de C_H

Dado que ambos engranajes tienen la misma dureza Brinell, este coeficiente adquiere el valor de la unidad.

Una vez finalizado la explicación de todos los factores que influyen en la comprobación AGMA, se adjuntan los resultados y se comentarán los coeficientes de seguridad obtenidos.

Tabla 3 Cálculo de engranajes según norma AGMA

CÁLCULO DE ENGRANAJE A FLEXIÓN SEGÚN AGMA

PARÁMETRO	PIÑÓN	RUEDA	UNIDAD
H _B	250		HB
W _t	584,82		kN
P _d	2,54		dientes/plg
F	15,71		mm
K ₀	1,75		[-]
Q _v	7		[-]
A	65,064		[-]
B	0,731		[-]
K _v	1,205		[-]
K _s	1,072	1,080	[-]
K _m	1,116	1,113	[-]
C _{mc}	1		[-]
C _{pf}	-0,021	-0,024	[-]
C _{pm}	1		[-]
C _{ma}	0,137		[-]
C _e	1		[-]
K _B	1		[-]
J	0,412	0,456	[-]
S _t	221,55		MPa
Y _N	0,938	0,956	[-]

CÁLCULO DE ENGRANAJE A DESGASTE SEGÚN AGMA

PARÁMETRO	PIÑÓN	RUEDA	UNIDAD
H _B	250		HB
W _t	584,82		kN
d _p	400	1200	dientes/plg
F	15,71		mm
C _p	191		MPa
K ₀	1,75		[-]
Q _v	7		[-]
A	65,064		[-]
B	0,731		[-]
K _v	1,205		[-]
K _s	1,072	1,080	[-]
K _m	1,116	1,113	[-]
C _{mc}	1		[-]
C _{pf}	-0,021	-0,024	[-]
C _{pm}	1		[-]
C _{ma}	0,137		[-]
C _e	1		[-]
C _f	1		[-]
m _G	3		[-]
p _N	29,52131434		mm

PARÁMETRO	PIÑÓN	RUEDA	UNIDAD
K_T	1		[-]
K_R	1		[-]
σ	22,820	20,678	MPa
$n_{flexión} \text{ o } S_F$	9,102	10,045	[-]

PARÁMETRO	PIÑÓN	RUEDA	UNIDAD
m_N	0,777	0,259	mm/diente
I	0,172	0,517	[-]
S_c	755		MPa
Z_N	0,900	0,923	[-]
C_H	1		[-]
K_T	1		[-]
K_R	1		[-]
σ_c	222,889	74,478	MPa
$n_{desgaste} \text{ o } S_H$	3,047	9,352	[-]

Interpolación para el cálculo de J

Para el piñón

$J'_{piñón}$	Z
0,42	85
0,424	120
0,43	170

f	Z
0,959	30
0,971	40
0,982	50

 $J_{piñón}$

0,412

Para la corona

Para 80 dientes

J'_{corona}	Z
0,44	35
0,445	40
0,455	50

Para 125 dientes

J'_{corona}	Z
0,46	35
0,464	40
0,472	50

Para 120 dientes

J'_{corona}	Z
0,445	35
0,451	40
0,464	50

Para 120 dientes

f	Z
1	75
1,011	120
1,019	150

 J_{corona}

0,456

Una vez vistos los resultados, se han comparado los coeficientes obtenidos en flexión y desgaste para piñón y corona para conocer cual es la amenaza más real para ambos. Para ello, se comparan S_F frente a S_H^2 .

Para el piñón, $S_F = 9,102 < S_H^2 = 9,284$. Por lo tanto, el piñón fallará antes por flexión.

Para la corona, $S_F = 10,045 < S_H^2 = 87,460$. Por lo tanto, la corona de nuevo fallará antes por flexión.

1.2.2 Elección del motor

En cuanto a la fuente de energía de la prensa, se va a utilizar un motor eléctrico dado que es lo más habitual en este tipo de maquinaria. A partir de los datos que aparecen en el *Anexo 1.2.1 Cálculo de transmisión por engranajes*, se ha obtenido la potencia del motor. La fórmula utilizada ha sido la siguiente:

$$P = F * v = 584,82 \text{ kN} * 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3508,92 \text{ kW}$$

Donde la velocidad se ha calculado como $v = \omega_1 * r_1 = \omega_2 * r_2$ y F es la componente tangencial de la fuerza. No es necesario aplicar coeficientes de mayoración debido a que la carga ya ha sido mayorada previamente en el análisis cinemático y dinámico.

De esta forma, se puede obtener cual es la potencia. Una vez conocidos los requisitos del motor, se puede elegir uno que cumpla con las especificaciones. Concretamente, el motor elegido es un motor eléctrico de la casa Siemens. Tiene una potencia de 3550 kW y un voltaje de 6 kV, se trata de motor de 4 polos, que trabaja con corriente alterna.

© Siemens 2019

Motors for operation on line or with SINAMICS PERFECT HARMONY converters

Open-circuit cooled motors

SIMOTICS HV Series A-compact PLUS 1RA1, 1RP1

Selection and ordering data (continued)

Rated power	High voltage motor A-compact PLUS	Speed	Rated current	Efficiency		Power factor		Torque	Break-down torque	Locked-rotor torque	Locked-rotor current	Cooling air flow rate	Moment of inertia	
P_{rated} 130 (B) ¹⁾			I_{rated} at 6 kV	4/4 load	3/4 load	4/4 load	3/4 load	T_{rated}	T_B/T_{rated}	T_{LR}/T_{rated}	I_{LR}/I_{rated}		Motor	External, max.
KW	Article number	rpm	A	%	%	cos φ	cos φ	Nm	[-]	[-]	[-]	m³/s	kgm²	kgm²
6 kV, 50 Hz														
4-pole														
500	1RA1350-4HA6	1479	59	94.5	94.6	0.87	0.83	3229	2.4	0.90	5.2	1.0	6.8	220
560	1RA1352-4HA6	1477	65	94.6	94.9	0.87	0.86	3620	2.4	0.90	5.2	1.0	7.5	265
630	1RA1354-4HA6	1479	73	94.9	95.1	0.87	0.86	4069	2.4	0.90	5.3	1.0	8.2	290
710	1RA1356-4HA6	1479	82	95.1	95.3	0.88	0.86	4584	2.5	1.10	5.6	1.0	9.1	305
800	1RA1400-4HA6	1482	93	95.1	95.2	0.87	0.85	5155	2.4	0.90	5.5	1.5	12.9	265
900	1RA1402-4HA6	1482	104	95.2	95.4	0.88	0.86	5799	2.4	0.90	5.5	1.5	13.9	285
1000	1RA1404-4HA6	1482	114	95.4	95.6	0.89	0.88	6444	2.4	0.90	5.5	1.5	15.6	320
1120	1RA1406-4HA6	1484	126	95.5	95.7	0.89	0.87	7209	2.6	1.10	6.2	1.5	17.4	335
1250	1RA1450-4HA6	1484	142	95.5	95.7	0.88	0.86	8044	2.9	0.90	6.2	2.0	19.0	330
1400	1RA1450-4HB6	1480	160	95.4	95.7	0.88	0.87	9034	2.4	0.90	5.5	2.0	19.0	240
1600	1RA1452-4HA6	1479	182	95.5	95.9	0.88	0.88	10331	2.4	0.80	5.5	2.0	21.0	265
1800	1RA1454-4HA6	1481	205	95.8	96.0	0.88	0.87	11607	2.7	0.90	5.8	2.0	23.0	265
2000	1RA1456-4HA6	1481	225	95.9	96.2	0.89	0.88	12897	2.7	0.90	5.8	2.0	25.0	290
2240	1RA1500-4HA6	1483	250	95.7	96.0	0.89	0.87	14422	2.5	0.85	5.1	2.8	38.8	180
2500	1RA1502-4HA6	1485	280	95.8	96.1	0.89	0.87	16082	2.6	0.90	5.5	2.8	42.9	200
2800	1RA1504-4HA6	1485	315	95.9	96.3	0.89	0.87	18008	2.6	0.90	5.5	2.8	47.2	220
3150	1RA1506-4HA6	1486	355	96.2	96.5	0.89	0.87	20240	2.8	1.00	5.7	2.8	52.4	250
3550	1RA1560-4HJ6	1489	400	96.7	96.8	0.88	0.85	22764	2.5	0.60	5.8	3.1	84.3	1400
4000	1RA1562-4HJ6	1489	450	96.8	97.0	0.88	0.85	25653	2.5	0.60	5.8	3.1	89.8	1400
4700	1RA1564-4HJ6	1488	530	96.9	97.1	0.88	0.85	30163	2.5	0.60	5.8	3.1	94.6	1400
4950	1RA1566-4HJ6	1487	560	96.9	97.1	0.88	0.86	31782	2.5	0.60	5.8	3.1	96.7	1400
5000	1RA1630-4HJ6	1490	560	97.1	97.0	0.88	0.87	32056	3.0	0.60	6.0	3.7	131.3	1450
5500	1RA1630-4HK6	1489	620	97.1	97.0	0.88	0.85	35266	2.9	0.60	6.0	3.7	131.3	1300
5600	1RA1632-4HJ6	1490	630	97.1	97.1	0.88	0.86	35902	2.9	0.60	6.0	3.7	142.9	1350
6600	1RA1634-4HJ6	1489	740	97.2	97.2	0.88	0.86	42333	2.9	0.60	6.0	3.7	154.2	1350
7100	1RA1636-4HJ6	1489	800	97.2	97.2	0.88	0.86	45537	2.9	0.60	6.0	3.7	168.3	1400

Type of construction

See page 1/10

Note:

Efficiencies according to IEC 60034-2-1.

Ilustración 22 Catálogo de Siemens.

1.2.3 Cálculo del freno

El siguiente elemento diseñado será el freno que va a llevar la prensa. Este freno será de disco, aunque las dimensiones como se verá a continuación no tendrán nada que ver con las de un freno de disco de coche, que es quizá la aplicación más frecuente de este tipo de discos. En comparación con estos discos, tanto la presión que se va a soportar como el área en la que se aplica la presión en este caso es algo mayor que en un coche.

El cálculo del freno parte del dato de la potencia que debe transmitir el cigüeñal, que será la potencia que debe disipar el freno. A criterio del diseñador queda en este caso el material y, por lo tanto, el coeficiente de rozamiento, y las dimensiones del radio interior y exterior que abarca la zapata. En cuanto a la hipótesis utilizada, se ha calculado el freno tanto a desgaste uniforme como a presión uniforme, siendo la hipótesis de desgaste uniforme la más conservadora y, por tanto, la que se tendrá en cuenta. La formulación utilizada, que ha sido sacada del Shigley, ha sido la siguiente:

Hipótesis de desgaste uniforme, ecuaciones 16 – 33, 34, 35 y 36.

$$F = (\theta_2 - \theta_1) p_a r_i (r_0 - r_i)$$

$$T = \frac{1}{2} (\theta_2 - \theta_1) f p_a r_i (r_0^2 - r_i^2)$$

$$r_e = \frac{r_0 + r_i}{2}$$

$$\bar{r} = \frac{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}{\theta_1 - \theta_2} \frac{r_0 + r_i}{2}$$

Hipótesis de presión uniforme, ecuaciones 16 – 37, 38, 39 y 40.

$$F = \frac{1}{2} (\theta_2 - \theta_1) p_a (r_0^2 - r_i^2)$$

$$T = \frac{1}{3} (\theta_2 - \theta_1) f p_a (r_0^3 - r_i^3)$$

$$r_e = \frac{2 r_0^3 - r_i^3}{3 r_0^2 - r_i^2}$$

$$\bar{r} = \frac{2 r_0^3 - r_i^3}{3 r_0^2 - r_i^2} \frac{\cos \theta_2 - \cos \theta_1}{\theta_2 - \theta_1}$$

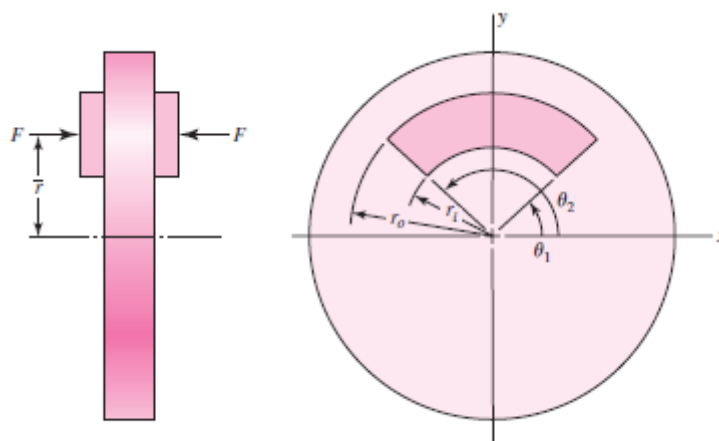


Ilustración 23 Parámetros para cálculo de freno. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

Tabla 4 Datos de partido y cálculo de freno de disco.

DATOS DE PARTIDA

r_i	0,25 m
r_o	0,35 m
θ_i	45 °
θ_o	135 °
T	175444,591 N*m
f	0,65 [-]
Hay 2 zapatas y el material es cerámico	

CÁLCULOS

Desgaste uniforme

p_a	22911076,1 Pa
	229,11 bar
$F_{\text{accionamiento}}$	899715,853 N
	899,72 kN
r_e	0,3 m
r	0,2701 m

Presión uniforme

p_a	18917402,3 Pa
	189,17 bar
$F_{\text{accionamiento}}$	891461,579 N
	891,46 kN
r_e	0,303 m
r	0,2726 m

1.2.4 Elección del embrague

En el caso de este componente, a partir de los requerimientos de la prensa se va a elegir un embrague comercial dado que su diseño no es el objeto del presente trabajo y el cálculo de este componente da por sí solo para un trabajo de fin de grado. En cuanto a su representación en 3D, se ha tomado como referencia un modelo CAD de un embrague – freno neumático de la casa EIDE.

En cuanto a la búsqueda de un embrague que cumpla los requerimientos necesarios, hay que puntualizar que no se ha elegido un embrague para turismo, que quizá sea una de las aplicaciones más habituales de estos componentes. Al descartar este tipo de embragues, el número de fabricantes a los que se puede acudir se ve muy reducido, lo cual dificultará la búsqueda y puede suponer un gasto adicional en el diseño de la máquina. Otra dificultad añadida es que el embrague debe ser neumático, en caso de que funcione con algún líquido, debe poder garantizarse el correcto funcionamiento en caso de que exista una fuga de líquido que deje desabastecido de líquido el componente. Esto se debe a motivos de seguridad, especificados en la norma UNE-EN ISO 16092-1:2018. Seguridad de las máquinas herramienta. prensas. Parte 1: Requisitos generales de seguridad. (ISO 16092-1:2017). El hecho de que el embrague deba ser neumático es un factor limitante dado que siempre va a ser capaz de transmitir una menor potencia que un embrague similar que utilice energía hidráulica. De hecho, no se han encontrado embragues neumáticos que cubran las necesidades de par una vez aplicado el coeficiente de seguridad, por lo cual finalmente se elegirá un embrague hidráulico algo sobredimensionado para garantizar su funcionamiento en todo momento.

Finalmente, el embrague seleccionado es un embrague freno – embrague hidráulico de la casa Goizper. Concretamente, se ha elegido un embrague progresivo Goizper serie 6.26.83, tamaño 9.

$$T_{requerido} = 350889,183 \text{ N m}$$

Con este dato, se consulta la ficha técnica y se elige el embrague que cumpla con los requisitos.

Para la elección final del embrague, se debe entrar en el par estático del embrague (Static Clutch Torque [Nm]), dado que esta será la capacidad de transmitir par del componente. La otra fila que aparece es el par dinámico de frenado (Dynamyc Brake Torque [Nm]), que sería la referencia en caso de que la aplicación de este componente fuera un freno.

HYDRAULIC CLUTCH-BRAKE UNIT / FRENO-EMBRAGUE HIDRÁULICO												
SERIES			6.25 / 6.26 / 6.27 / 6.28									
SIZE			25	75	77	78	81	82	83	84		
Static Clutch Torque (Nm)		Clutch / brake	Clutch	5	2500	6500	12500	25000	50000	100000	200000	328000
				6	3000	7800	15000	30000	60000	120000	240000	391000
				7	3500	9100	17500	35000	70000	140000	280000	456000
				8	4000	10400	20000	40000	80000	160000	320000	514000
				9	4500	11700	22500	45000	90000	180000	360000	574000
				10	5000	13000	25000	50000	100000	200000	400000	633000
Dynamic Brake Torque (Nm)		Number of discs	Brake	5	1000	2500	5000	10000	20000	40000	80000	120000
				6	1200	3000	6000	12000	24000	48000	96000	144000
				7	1400	3500	7000	14000	28000	56000	112000	168000
				8	1600	4000	8000	16000	32000	64000	128000	192000
				9	1800	4500	9000	18000	36000	72000	144000	216000
				10	2000	5000	10000	20000	40000	80000	160000	240000
J int. (kg m²)		C / B	5/5	0,16	0,58	1,51	3,58	9	33,7	102	252	
			10/10	0,19	0,69	1,96	4,76	12,53	45,2	133	325	
Weight (Kg)				40	80	160	295	510	1030	1900	3000	
Max. speed (min ⁻¹)				1700	1300	1000	850	700	500	415	350	
Pressure (bar)				60							Contact Goizper for sizes 83 and 84 Tamaños 83 y 84 consultar con Goizper	
Ø A H7mín.				60	80	90	110	150	190			
Ø A H7máx.				75	95	110	140	180	240			
Ø E H7 máx.				115	135	155	190	235	305			
Ø F ₁				145	175	220	270	320	430			
Ø F ₂				160	200	250	300	380	480			
L ₅				110	135	170	205	230	290			
L ₆				120	148	185	225	252	318			
L ₇				130	161	200	245	274	346			
L ₈				140	174	215	265	296	374			
L ₉				150	187	230	285	318	402			
L ₁₀				160	200	245	305	340	430			
N				85	85	105	120	150	150			
Ø O				6	7	10	11,5	15	19			
P				31	36	48	60	65	82			
R ₅				49	64	82	95	106	137			
R ₆				54	71	89	105	117	150			
R ₇				59	77	97	115	128	164			
R ₈				64	84	104	125	139	177			
R ₉				69	90	112	135	150	191			
R ₁₀				74	97	119	145	161	204			
S				5	5	5	5	5	5			
Y ₁				30	30	30	39	39	45			
Y ₂				4	4	4	5	5	5			
b				6	7	10	10	10	14			
c				93,5	95	115	133	165	175			
d				26,5	31	41	52,5	55	70			
e				9	10	14	15	20	24			

Ilustración 24 Ficha técnica de freno - embragues de la casa Goizper.

1.2.5 Cálculo del volante de inercia.

El volante de inercia es un elemento fundamental en la prensa mecánica debido a que el trabajo realizado varía desde cero, cuando el ciclo no ha empezado, a un máximo, cuando la biela transmite la fuerza para el testeo del troquel, mientras que un motor eléctrico proporciona energía de manera constante. Con este elemento en la cadena cinemática, se consigue reducir considerablemente la potencia necesaria del motor eléctrico y evita que trabaje de golpe.

El volante de inercia acumula una cantidad de energía por parte del motor que transmite a su vez, de manera parcial, en el momento en que la prensa lo requiere para ejercer fuerza. Para realizar esta operación, el volante debe haber alcanzado un régimen óptimo de revoluciones, pues de lo contrario existe riesgo de un funcionamiento incorrecto. Para que la cesión de energía llegue en el momento óptimo de revoluciones, cabe la posibilidad de incorporar un medidor de régimen de giro que solo permita el accionamiento del volante cuando el régimen sea óptimo.

En primer lugar, se debe conocer cuáles son los requerimientos del volante. La energía potencial que debe ser capaz de suministrar el volante es función de la altura y de la fuerza a suministrar. La fuerza utilizada ha sido el valor de la fuerza calculada mediante el análisis dinámico mayorada por el coeficiente de seguridad y la altura se ha considerado la distancia desde el punto de fuerza hasta el PMI.

$$E_{necesaria} = F * g * h$$

En cuanto a la cantidad de energía almacenada, la formulación utilizada ha sido la siguiente:

$$E_c = \frac{1}{2} I * \omega^2$$

Como resulta evidente en la expresión, el primer factor limitante del volante de inercia es el momento de inercia. Se trata de un parámetro que depende de su forma geométrica y de las propiedades del material del volante. El momento de inercia, dado que el diseño del volante de inercia se ha diseñado como un cilindro de pared delgada, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I = \frac{1}{4} m * (r_o^2 + r_i^2) = \frac{1}{4} \pi * \rho * b * (r_o^4 - r_i^4)$$

Una limitación de este componente será la velocidad de giro. El giro produce una fuerza centrífuga que a su vez provoca tensiones mecánicas en este componente, por lo tanto, la máxima energía que sea capaz de almacenar el volante vendrá limitada por el límite elástico del material. El parámetro que mide este fenómeno se conoce como la máxima densidad de energía específica, es decir, por unidad de masa, y responde a la siguiente expresión:

$$E_{sp} = \frac{K_s \sigma}{\rho}$$

Donde K_s es el factor de forma, σ el límite elástico y ρ la densidad del material.

Geometría del volante de inercia	Sección	Factor de forma K
Disco		1
Disco modificado		0,931
Disco cónico		0,806
Disco plano no perforado		0,606
Cilindro delgado		0,5
Barra conformada		0,5
Montura con membrana		0,4
Barra simple		0,333
Barra plana perforada		0,305

Ilustración 25 Tabla con factores de forma en función de la geometría.

En cuanto al cálculo del volante de inercia, a partir de un diseño preliminar con la geometría deseada y utilizando un acero AISI 1020 estirado en frío se ha ido probando si se cumplían con las solicitaciones. El motivo de haber partido de un diseño preliminar es que Solidworks proporciona una serie de parámetros físicos que resultan muy útiles para el dimensionado del volante como pueden ser la masa o el momento de inercia. Finalmente, los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Tabla 5 Cálculos para el volante de inercia.

DATOS			CÁLCULOS		
h	0,014	m	$E_{necesaria}$	480690	J
F	3500000	N			
b	0,3	m	I	1880,31	kg*m ²
R	0,475	m	E_c	587596,88	J
r	0,4	m			
ω	25	rad/s	E_{sp}	24777,64	J/kg
K_s	0,5	[-]		78718551,5	J
ρ	7870	kg/m ³			
σ_m	3,90E+08	Pa			
m	3177	kg			

Tal y como se puede observar, la energía cinética que es capaz de almacenar el volante es mayor que la energía necesaria, por lo tanto, la inercia no será una limitación que impida que el volante cumpla su función.

Por otro lado, se puede observar como la velocidad no va a ser un factor limitante dado que la máxima densidad de energía es superior también al valor de la energía necesaria:

$$E_{necesaria} < m * E_{sp}$$

Por último, se ha considerado también el cálculo del montaje del volante de inercia en el eje, el cual se va a realizar en este caso mediante una unión por interferencia. Se ha considerado un ajuste de impulso medio debido al tipo de material que se utilizará para ambos elementos, que será un acero convencional.

Tipo de ajuste	Descripción	Símbolo
Holgura	<i>Ajuste suelto en operación:</i> para tolerancias comerciales amplias o márgenes en elementos externos	H11/c11
	<i>Ajuste libre en operación:</i> no se debe emplear cuando la exactitud es esencial, pero resulta adecuado para grandes variaciones de temperatura, altas velocidades de operación o grandes presiones en el cojinete	H9/d9
	<i>Ajuste estrecho en operación:</i> para operación en máquinas de precisión y para la ubicación exacta a velocidades y presiones moderadas en el cojinete	H8/f7
	<i>Ajuste deslizante:</i> donde las partes no se van a operar libremente, pero se deben mover y girar con libertad y tener una ubicación precisa	H7/g6
	<i>Ajuste de holgura localizada:</i> proporciona un ajuste firme para la ubicación de partes estacionarias, pero se puede ensamblar y desensamblar libremente	H7/h6
Transición	<i>Ajuste de transición localizada:</i> para ubicación precisa; un parámetro intermedio entre holgura e interferencia	H7/k6
	<i>Ajuste de transición localizada:</i> para una ubicación más precisa, donde es permisible una mayor interferencia	H7/n6
Interferencia	<i>Ajuste de interferencia localizada:</i> para partes que requieren rigidez y alineación con la mejor precisión de ubicación, pero sin requisitos especiales de presión en el diámetro interior	H7/p6
	<i>Ajuste de impulso medio:</i> para partes de acero ordinarias o ajustes por contracción en secciones ligeras; el ajuste más firme que se puede realizar con elementos de hierro fundido	H7/s6
	<i>Ajuste forzado:</i> adecuado para partes que se puedan someter a esfuerzos elevados, o para ajustes por contracción donde resulten imprácticas las fuerzas de alta presión requeridas	H7/u6

Ilustración 26 Ajustes eje - agujero más habituales. Fuente: Budynas R., Nisbert K., "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley", 8ª edición. Editorial McGraw Hill.

El ajuste por interferencia implica que las piezas estarán sometidas a una presión, que va a ser la que permita el montaje. El primer paso consiste en calcular el ajuste, donde las fórmulas utilizadas, teniendo en cuenta que es un ajuste por interferencia, son las siguientes:

$$d_{max} = d_{nominal} + \delta_{eje} + \Delta d$$

$$d_{min} = d_{nominal} + \delta_{eje}$$

$$D_{max} = D_{nominal} + \delta_{agujero} + \Delta D$$

$$D_{min} = D_{nominal} + \delta_{agujero}$$

$$\delta_{max} = d_{min} - D_{max}$$

$$\delta_{min} = d_{max} - D_{min}$$

Una vez calculada la interferencia, se disponen de todos los datos necesarios para calcular la presión y las tensiones debidas al ajuste. Se deben calcular dos casos, el caso con interferencia máxima y el caso con interferencia mínima, para comprobar que la unión funciona bien en ambos casos. La formulación utilizada es la siguiente:

$$p = \frac{E \delta}{2 d^3} \left(\frac{(d_0^2 - d^2)(d^2 - d_i^2)}{d_0^2 - d_i^2} \right)$$

$$\sigma_{t,eje} = -p \frac{d^2 + d_i^2}{d^2 - d_i^2}$$

$$\sigma_{t,eje} = -p$$

$$\sigma_{t,maza} = p \frac{d_0^2 + d^2}{d_0^2 - d^2}$$

$$\sigma_{t,maza} = -p$$

$$T = \frac{\pi}{2} \mu p_{min} l d^2$$

Para el cálculo de las tensiones, con calcular el caso más desfavorable es suficiente, siendo este caso el que tiene en cuenta la presión máxima calculada anteriormente. En el caso del par, se debe calcular el par mínimo que se va a transmitir siempre, por lo tanto, se tiene que calcular utilizando el dato de la presión mínima. Se busca que el valor del par de torsión mínimo transmitido supere el valor de par nominal calculado en el estudio dinámico. Por último, cabe comentar que la tensión equivalente σ' se ha calculado mediante el criterio de energía de distorsión.

Tabla 6 Cálculos del montaje cigüeñal – volante de inercia.

AJUSTE EJE - AGUJERO

Ajuste por interferencia de impulso medio

Ajuste H7/s6

$D_{nominal}$	250	mm
δ_{max}	0,169	mm
δ_{min}	0,094	mm
E	210000	N/mm ²
d_0	1900	mm
d	250	mm
d_i	0	mm
μ	0,57	[-]
l	300	mm

p_{max}	69,751	MPa
p_{min}	38,796	MPa
T	651310907	N*mm
	651,311	kN*m

Eje IT6	Δd	0,029	mm
	δ_{eje}	0,14	mm
	d_{max}	250,169	mm
	d_{min}	250,14	mm
	σ_t	-69,751	MPa
	σ_r	-69,751	MPa
	σ'	69,751	MPa
	n	5,591	[-]

Agujero IT7	ΔD	0,046	mm
	$\delta_{agujero}$	0	mm
	D_{max}	250,046	mm
	D_{min}	250	mm
	σ_t	72,209	MPa
	σ_r	-69,751	MPa
	σ'	122,947	MPa
	n	3,172	[-]

1.3 Cálculo de elementos estructurales.

1.3.1 Cálculo del bastidor.

Para el cálculo del bastidor se utilizan el dato de la fuerza del punto de fuerza y la longitud y el ángulo de la manivela. Cabe aclarar que el par nominal no hace falta equilibrarlo debido a que la viga que se está calculando es un eje que está girando precisamente debido a ese par.

Suponiendo una longitud entre apoyos de 1,5 m., que el esquema es simétrico y que la distancia entre manivelas es 1 m. queda definido el esquema. Los datos son los siguientes:

$$F_Y = F_{42} * \cos \theta_3 = 3500 \text{ kN}$$

$$F_Z = F_{42} * \sin \theta_3 = 274,6 \text{ kN}$$

$$W = 10 \text{ kN}$$

$$d_y = R_2 * \cos \theta_3 = 0,739 \text{ m}$$

$$d_z = R_2 * \sin \theta_3 = 0,130 \text{ m}$$

Se ha considerado para el conjunto de componentes que va a soportar el eje que pesan en torno a 1000 kg, por lo tanto, se debe tener en cuenta en el apoyo una carga de 10 kN.

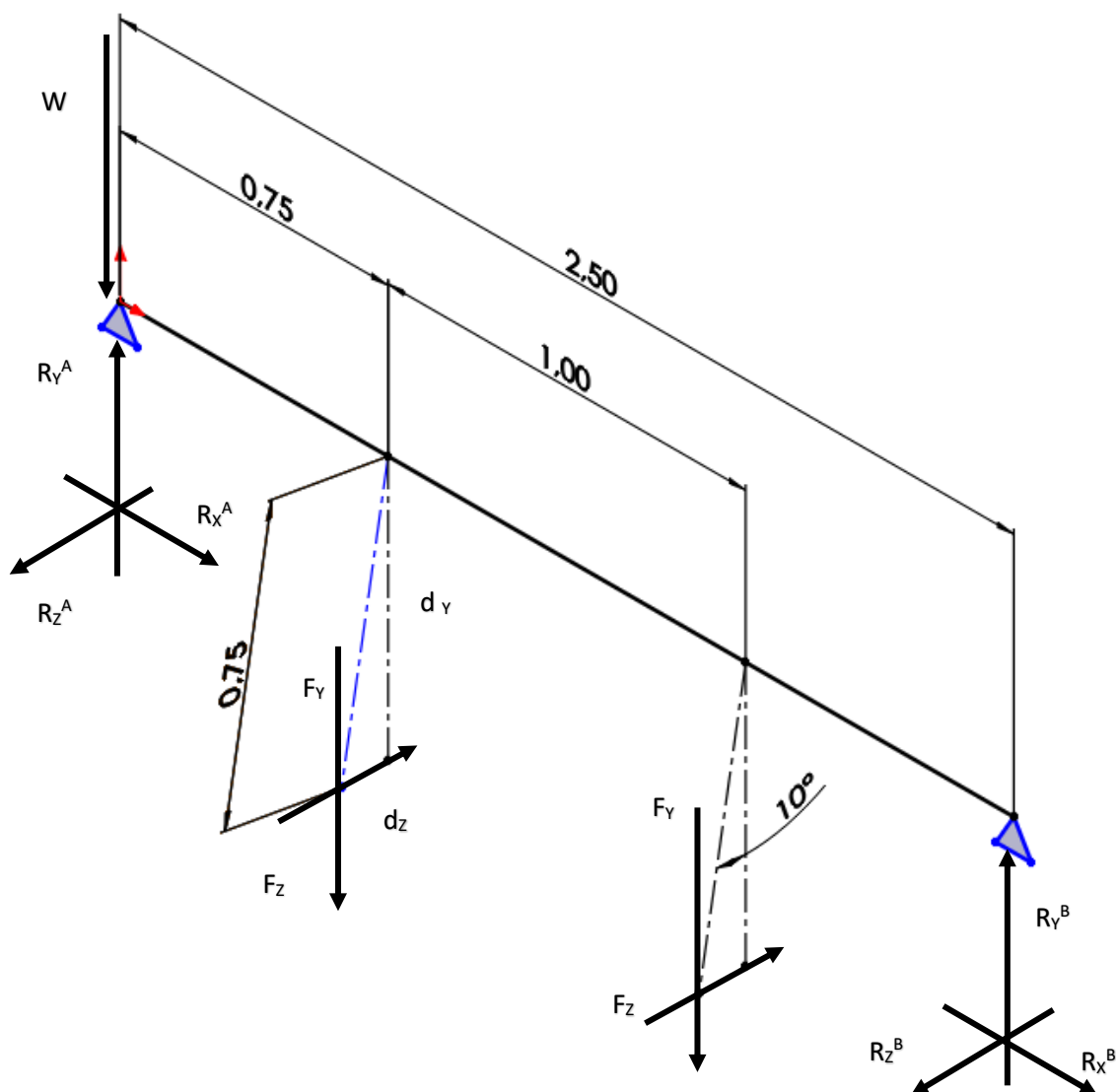


Ilustración 27 Esquema del eje del cigüeñal

Se plantea el equilibrio en fuerzas y momentos para calcular las reacciones:

$$\sum F_X = 0 \rightarrow R_X^A + R_X^B = 0 \rightarrow R_X^A = R_X^B = 0$$

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow R_Y^A + R_Y^B - 2 F_Y - W = 0 \rightarrow R_Y^A = 2 F_Y - R_Y^B - W = 3490 \text{ kN}$$

$$\sum F_Z = 0 \rightarrow R_Z^A + R_Z^B - 2 F_Z = 0 \rightarrow R_Z^A = 2 F_Z - R_Z^B = 274,6 \text{ kN}$$

$$\sum M_Y^A = 0 \rightarrow F_Z * 0,75 + F_Z * 1,75 - R_Z^B * 2,5 = 0 \rightarrow R_Z^B = \frac{F_Z * (0,75 + 1,75)}{2,5} = 274,6 kN$$

$$\sum M_Z^A = 0 \rightarrow -F_Y 0,75 - F_Y 1,75 + R_Y^B * 2,5 = 0 \rightarrow R_Y^B = \frac{F_Y * (0,75 + 1,75)}{2,5} = 3500 \text{ kN}$$

Una vez calculadas las reacciones, se propone un modelo del bastidor en Ansys y en Solidworks. Se van a realizar dos análisis con objeto de validar los resultados obtenidos vía dos softwares

distintos. Tal y como se puede observar en las operaciones anteriores, no existe ninguna reacción según el eje X, es decir, no hay ninguna fuerza en dirección normal a la chapa. Por lo tanto, con objeto de simplificar al máximo el ensayo en Ansys, se planteará un modelo bidimensional de la chapa.

Entrando en los detalles del análisis en Ansys, se ha escogido un elemento finito Solid Quad 4node 182 (PLANE 182), que es un elemento finito cuadrado de 4 nodos. El tipo de análisis será estructural y se va a realizar un modelo de tensión plana. Se considera válido este análisis dado que el espesor de la chapa es menor que el 10% de la longitud del modelo. El espesor considerado es de 15 mm, el tamaño del elemento finito va a ser de 50 mm, que teniendo en cuenta que es un modelo que tiene dimensiones de metros, es un tamaño más que razonable. En Solidworks, el modelo 3D se utilizará para el análisis estático por elementos finitos y el mallado utilizado será el más fino posible dado que no es una geometría compleja que vaya a dar problemas por el coste computacional y así se obtienen resultados más precisos.

El tamaño de las chapas será de $4,3 \times 2 \text{ m}^2$, el material será acero con un módulo de elasticidad de 210000 MPa y con un coeficiente de Poisson de 0,3 y se ha considerado que es un material que tiene un comportamiento lineal, elástico e isotrópico.

En cuanto a la hipótesis de carga, se han restringido todos los grados de libertad en la parte inferior de la chapa porque se entiende que el bastidor de la máquina debe quedar bien fijado al suelo. Se han aplicado las cargas calculadas con las reacciones en el agujero central donde se coloca el eje del cigüeñal. En Ansys, para evitar que una carga concentrada pueda dar resultados que no se ajustan a la realidad, se ha realizado el mallado de manera previa y se ha repartido la carga en todos los nodos situados en la línea del agujero donde se ubica el eje.

En los resultados obtenidos en ambos casos se puede observar como las tensiones de Von Mises no superan el límite elástico, por lo tanto, no se producirán deformaciones plásticas. En cuanto a los desplazamientos, se obtienen unos valores máximos muy similares de en torno a 4 mm. Ante la duda, se tomará como referencia el resultado en Ansys dado que es un software más potente a la hora de realizar análisis por el Método de los Elementos Finitos (MEF).

Otro indicador que apunta a que el modelo puede darse por validado es que en ambos casos se obtienen mapas de isocontornos muy similares.

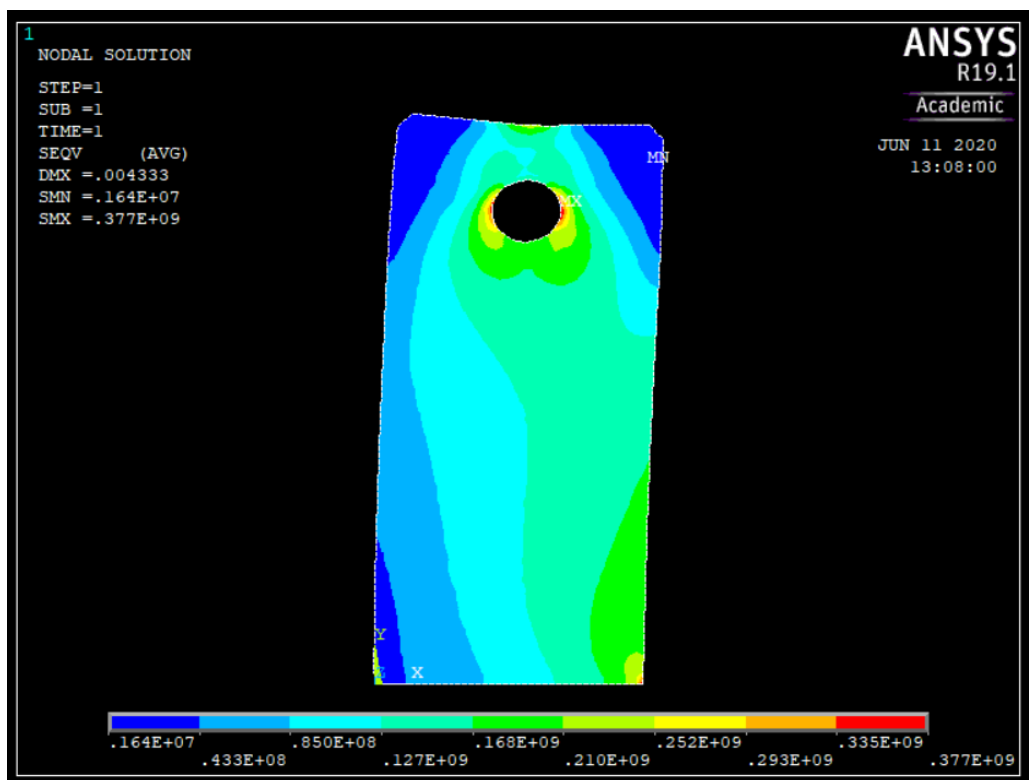


Ilustración 28 Diagrama de tensiones de Von Mises obtenidos para el bastidor.

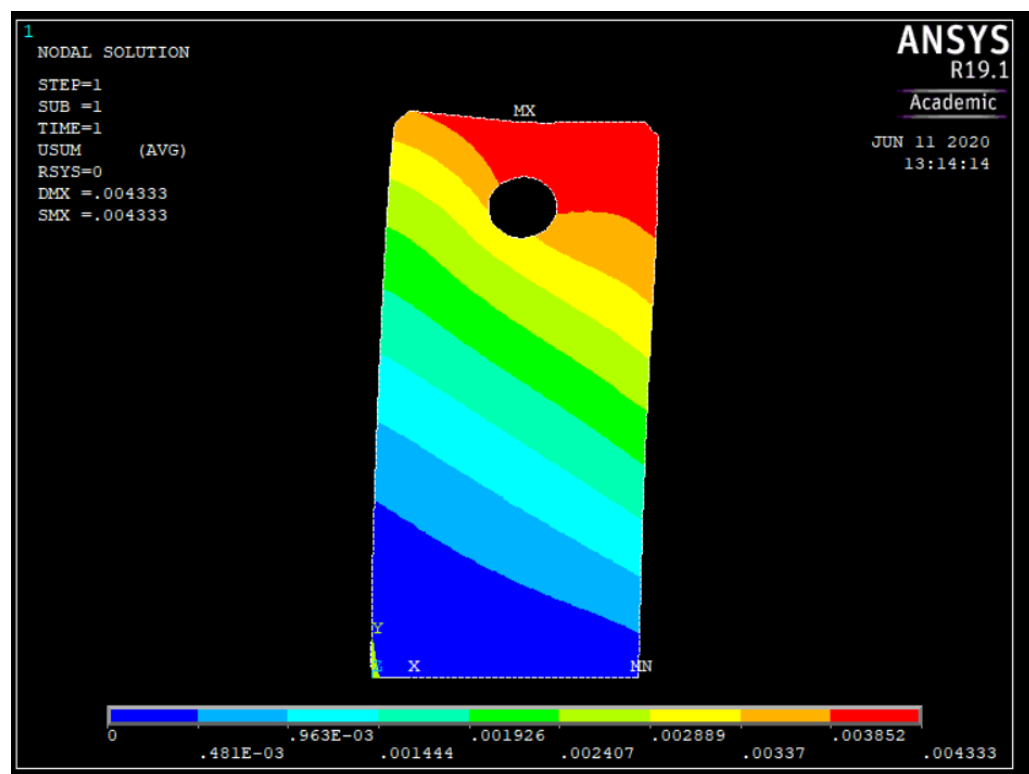


Ilustración 29 Diagrama de vector desplazamiento del bastidor.

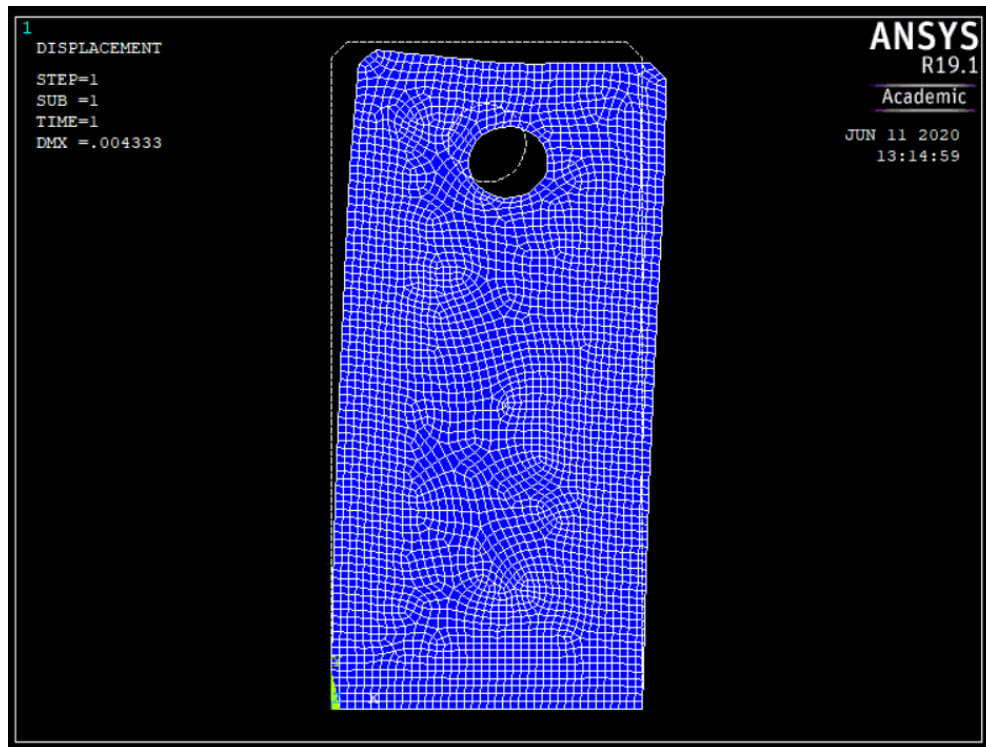


Ilustración 30 Deformada junto al contorno inicial del bastidor.

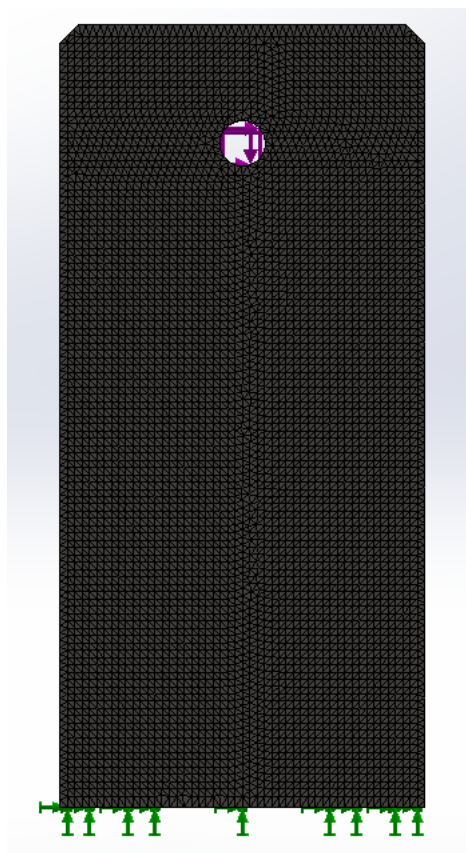


Ilustración 31 Hipótesis de carga y mallado de la chapa en Solidworks

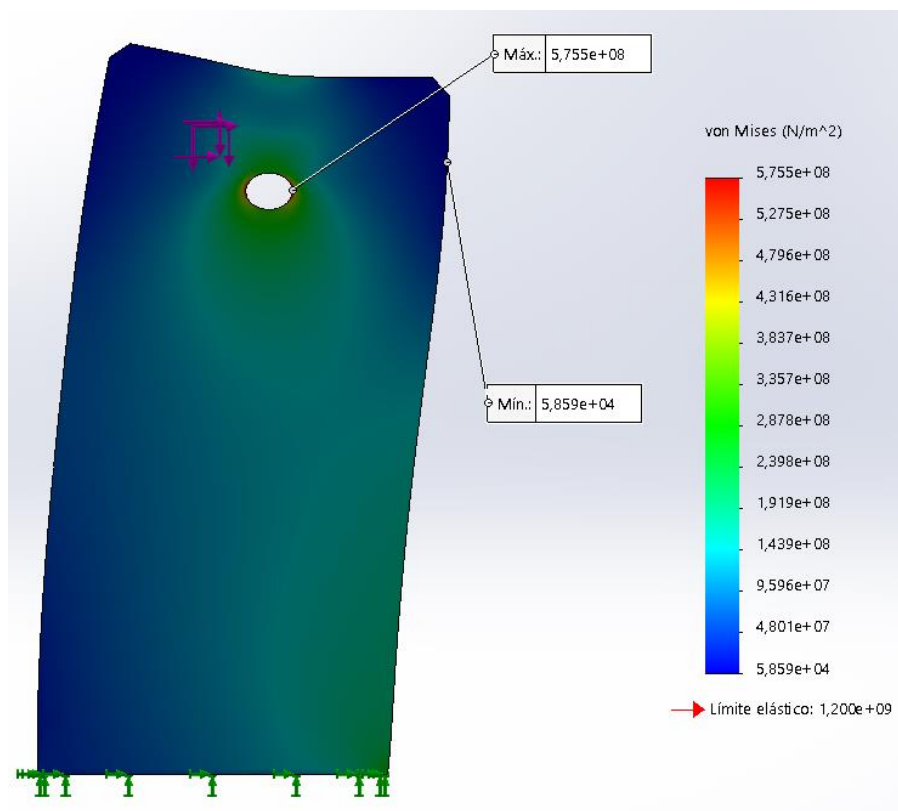


Ilustración 32 Tensiones de Von Mises de la chapa del bastidor en Solidworks.

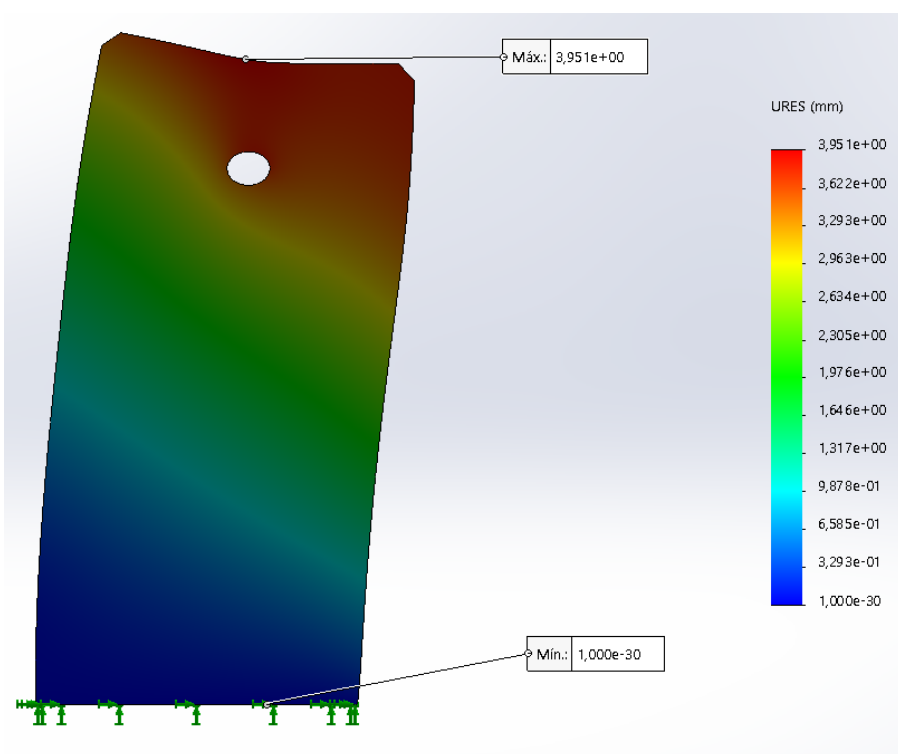


Ilustración 33 Deformaciones de la chapa del bastidor en Solidworks.

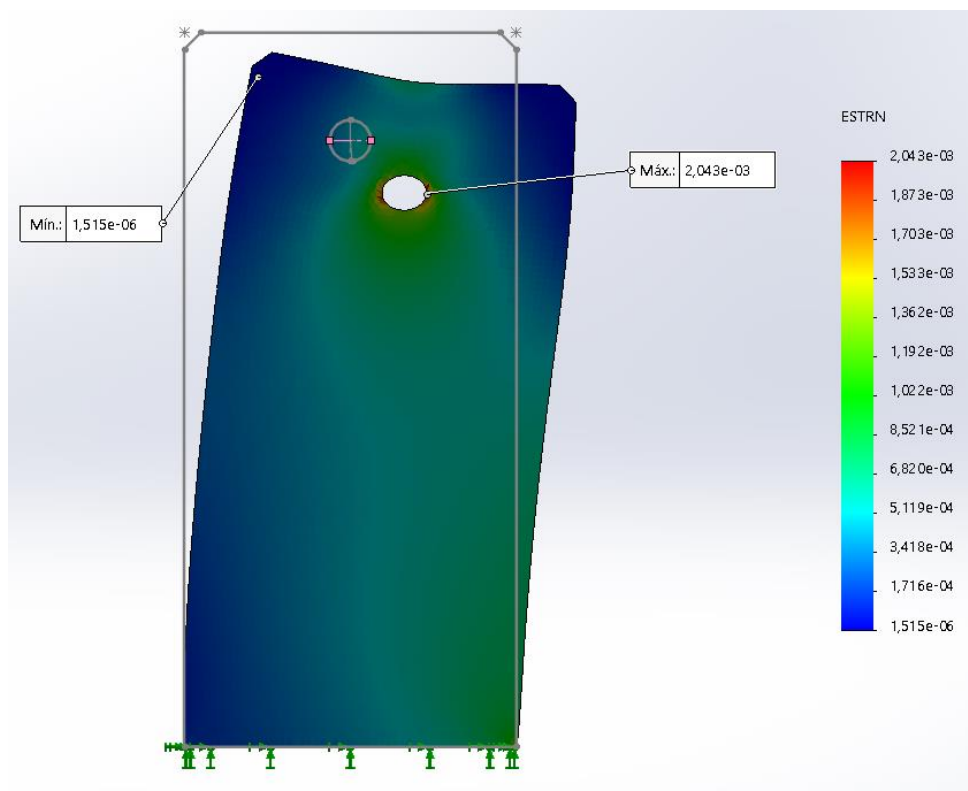


Ilustración 34 Deformación unitaria y deformada de la chapa del bastidor en Solidworks.

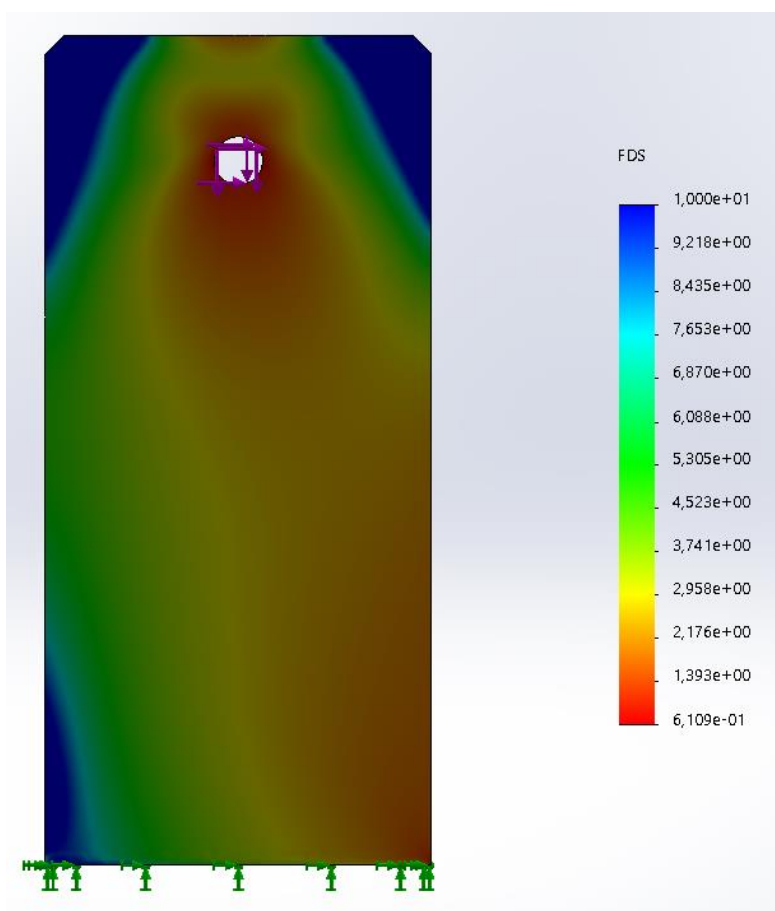


Ilustración 35 Factor de seguridad en la chapa del bastidor obtenido en Solidworks.

1.3.2 Cálculo de la mesa

La mesa será el elemento estructural que soporta el impacto del troquel o la herramienta que mueve la prensa. Se ha planteado una mesa soportada en perfiles tubulares rectangulares normalizados ISO 120x80x8 mm sobre los cuales se colocará una chapa de 100 mm. En cuanto al contacto de los perfiles con el suelo, se ha colocado una tapa en el extremo del perfil en contacto con el suelo con un espesor de 20 mm.

El área sobre la cual va a impactar la mesa se ha calculado como dos tercios del ancho por dos tercios del largo del bastidor, de manera que la dimensión sobre la que impacta el carro son 1,7 x 1,33 m². Para dar una mayor rigidez estructural a la mesa en su dimensión más larga se ha planteado una unión rígida en la que coincidan 3 perfiles.

Respecto de la hipótesis de carga, se han empotrado todos los puntos de contacto con el suelo dado que se entiende que la mesa debe quedar bien sujeta al suelo. La carga se ha distribuido uniformemente por toda la superficie de la chapa, donde el carro realizará el impacto. En cuanto al valor de la carga, se ha aplicado el valor de la fuerza mayorado por el coeficiente de seguridad de 1,75 considerado en el análisis dinámico.

$$F = CS * F_{biela} * n^{\circ} bielas = 3500 \frac{kN}{biela} * 2 bielas = 7000 kN$$

Los resultados obtenidos en Solidworks han sido los siguientes:

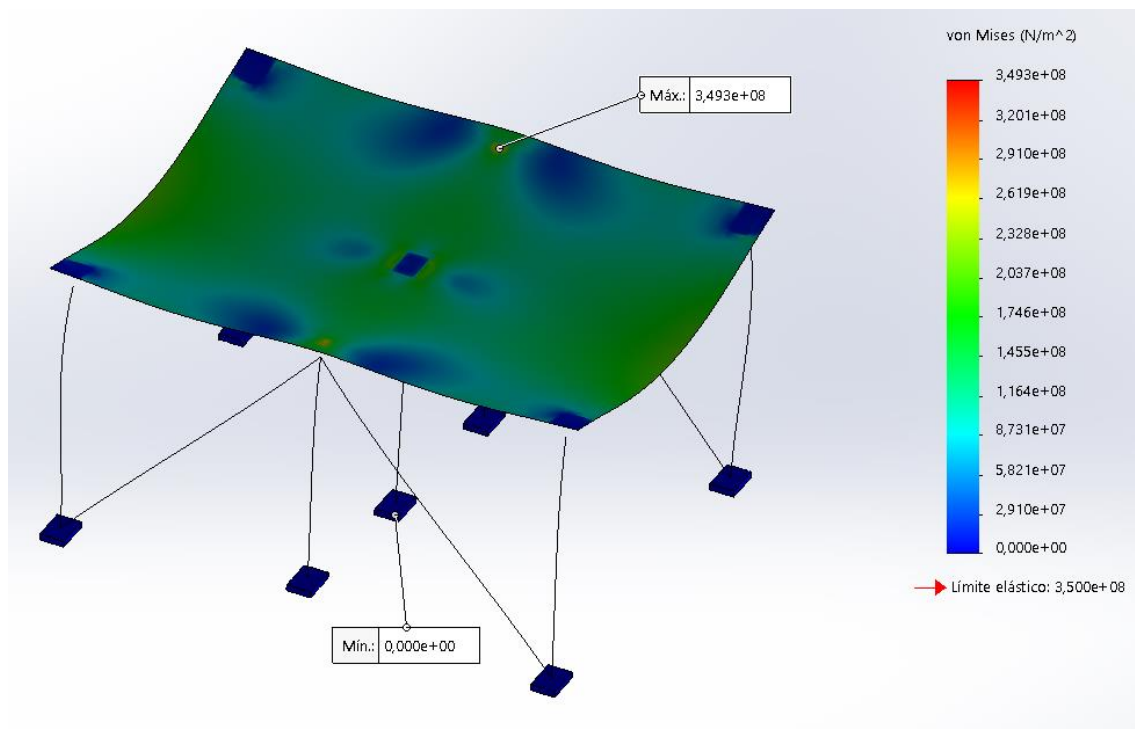


Ilustración 36 Diagrama de tensiones de Von Mises de la mesa en Solidworks.

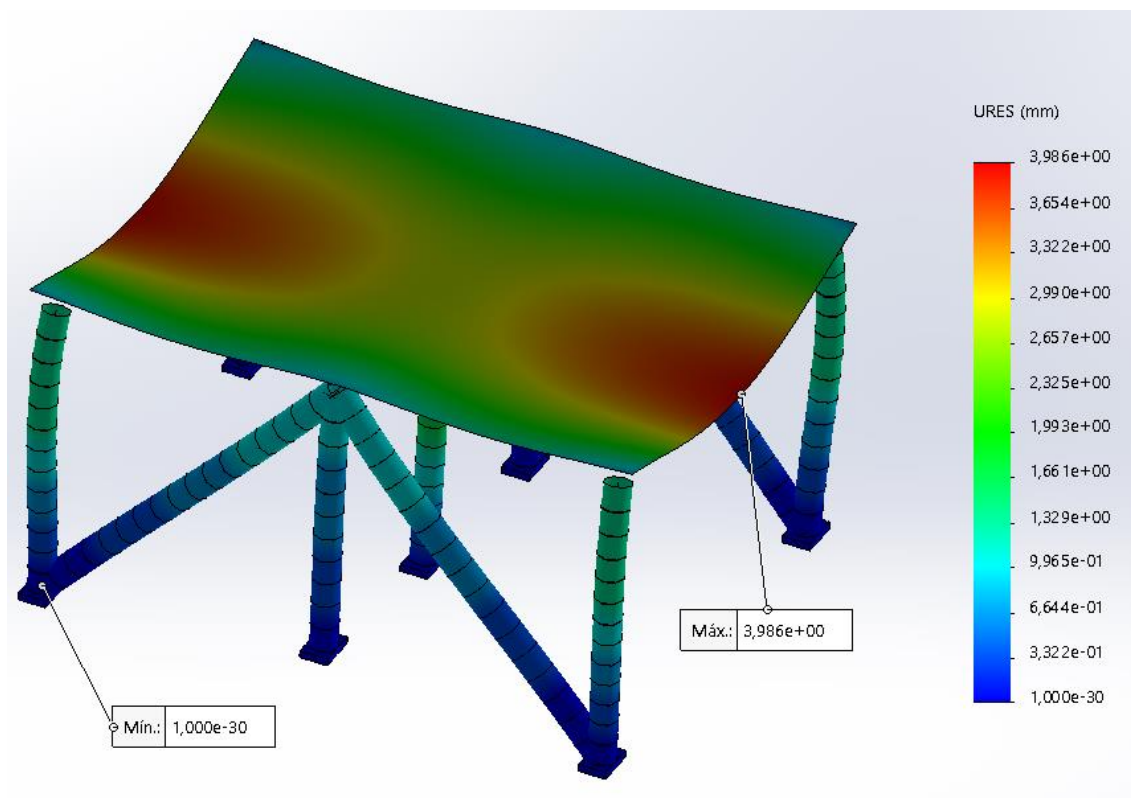


Ilustración 37 Diagrama de desplazamientos de la mesa en Solidworks.

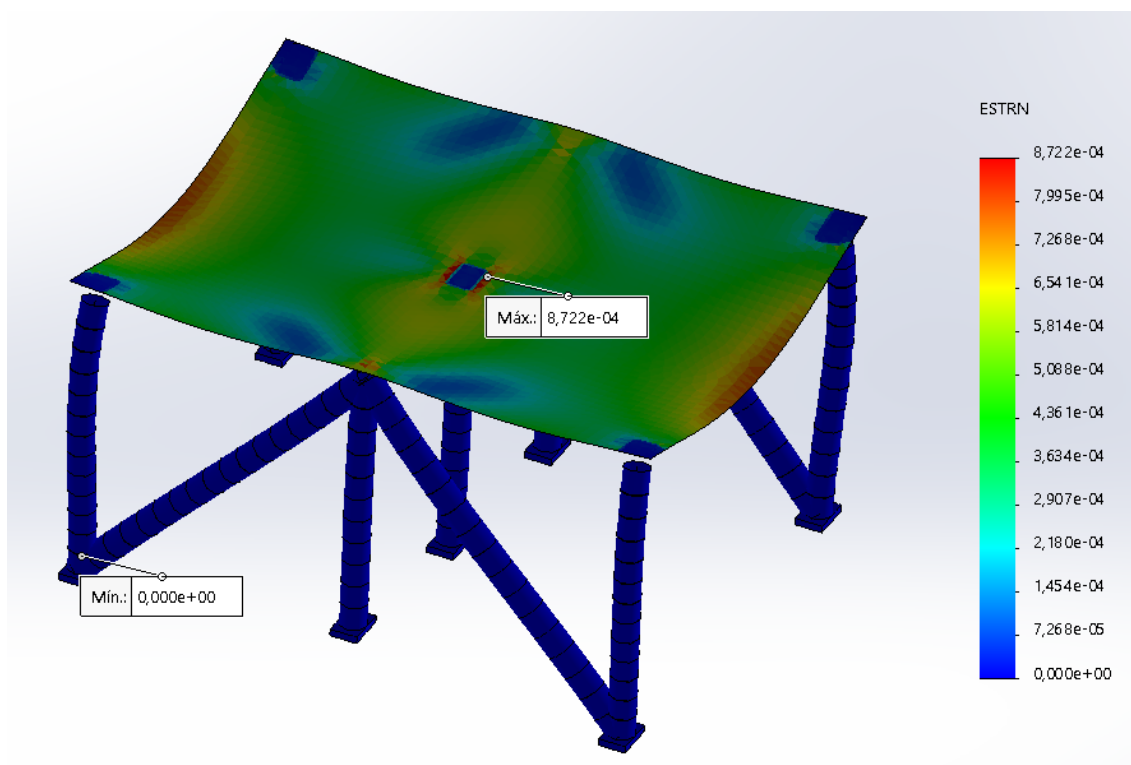


Ilustración 38 Diagrama de deformaciones unitarias de la mesa en Solidworks.

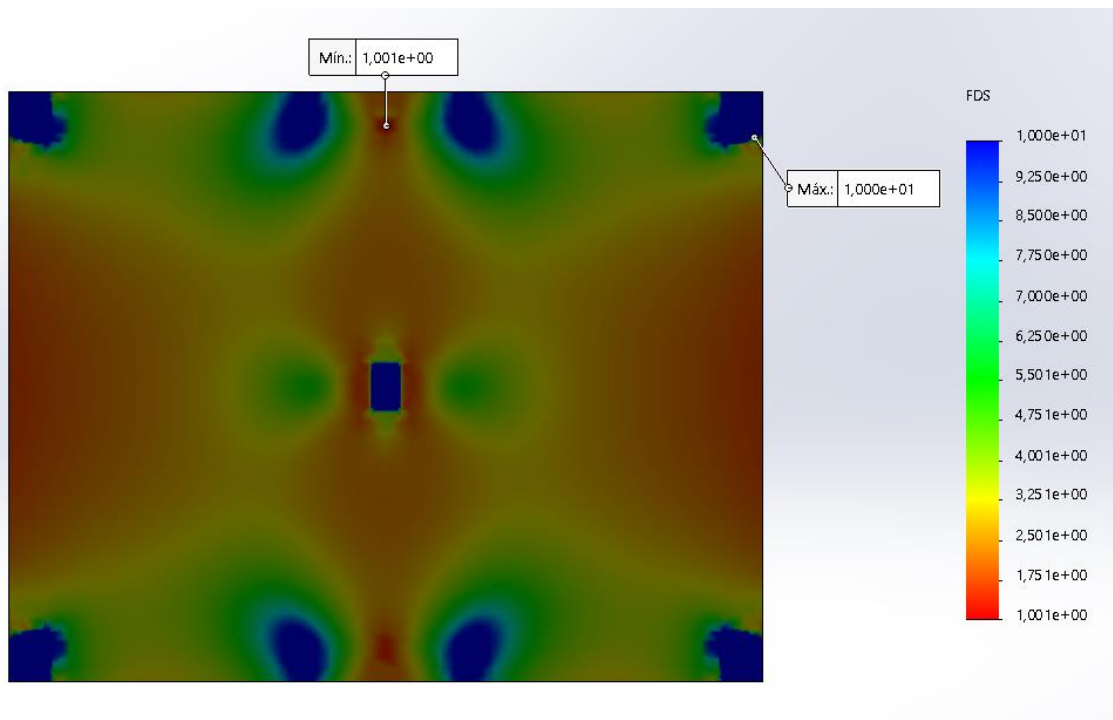


Ilustración 39 Factor de seguridad de la mesa en Solidworks.

Tal y como se observa en el diagrama de tensiones de Von Mises, el resultado es muy justo dado que la tensión máxima no supera el límite elástico por muy poco. Sin embargo, hay varios factores que deben tenerse en cuenta. En primer lugar, la carga ya está previamente mayorada, por lo tanto, el diseño es seguro. Por otro lado, el valor máximo se encuentra en el apoyo de los perfiles centrales, lo cual es debido a que el programa calcula una concentración de tensiones en ese punto. Mediante una correcta unión entre la chapa y los perfiles esa concentración puede reducirse, de manera que la tensión máxima puede reducirse.

En caso de querer un diseño aún más seguro, se pueden aplicar uniones rígidas también en el sentido más corto de la mesa, en ambas direcciones en el centro de la mesa e incluso en diagonal uniendo el perfil del centro de la mesa con los extremos. Esta opción se ha desestimado debido a que se ha intentado realizar el diseño más sencillo posible para facilitar la ejecución técnica de la mesa, así como para ajustar el precio lo máximo posible.

1.3.3 Cálculo del carro.

Para el cálculo de este componente se va a seguir el mismo procedimiento que con el bastidor, es decir, se calcularán las reacciones en los apoyos y se propondrá un modelo 3D. En este caso, los cálculos son muy sencillos debido a que se aplica una carga de 4000 kN que se reparte de manera uniforme en los cuatro apoyos del carro. Es decir, las reacciones serán de 1000 kN en sentido vertical ascendente.

En cuanto a los modelos, en Ansys se va a realizar un modelo 3D con elementos finitos Solid Brick 8 node 185, que es un cubo de 8 nodos, el elemento 3D más sencillo posible. El tamaño de elemento finito va a ser de nuevo de 50 mm. En cuanto al diseño, se va a diseñar un cuarto del componente debido a que la pieza permite aplicar simetrías en dos planos.

Por otro lado, en Solidworks se analizará el modelo 3D entero debido a dos motivos fundamentalmente: el software no tiene tantas opciones para realizar la simulación MEF y el programa aguanta el modelo 3D sin problemas.

En cuanto a la hipótesis de carga, se han restringido todos los desplazamientos en los agujeros en los que iría metida la guía. En cuanto a la carga, tanto en Ansys como en Solidworks se ha metido una fuerza equivalente a 4000 kN, pero la forma de introducirla debido a las particularidades del programa ha sido diferente:

- Ansys no da la opción de meter cargas superficiales, sino que hay que meter este tipo de cargas como presión. El valor introducido ha sido calculado de la siguiente forma:

$$p = \frac{CS * F}{A} = 0,25 \frac{1,75 * 4000 \text{ kN}}{2,25 * 1,85 \text{ m}^2} = 420,42 \text{ kPa}$$

- Solidworks permite introducir una carga superficial, por lo tanto, con seleccionar la cara e introducir el valor de la carga es suficiente.

En ambos casos, el material considerado ha sido acero AISI 1030 laminado en caliente con un módulo de elasticidad de 200000 MPa y un coeficiente de Poisson de 0,29 y se ha considerado que es un material que tiene un comportamiento lineal, elástico e isotrópico.

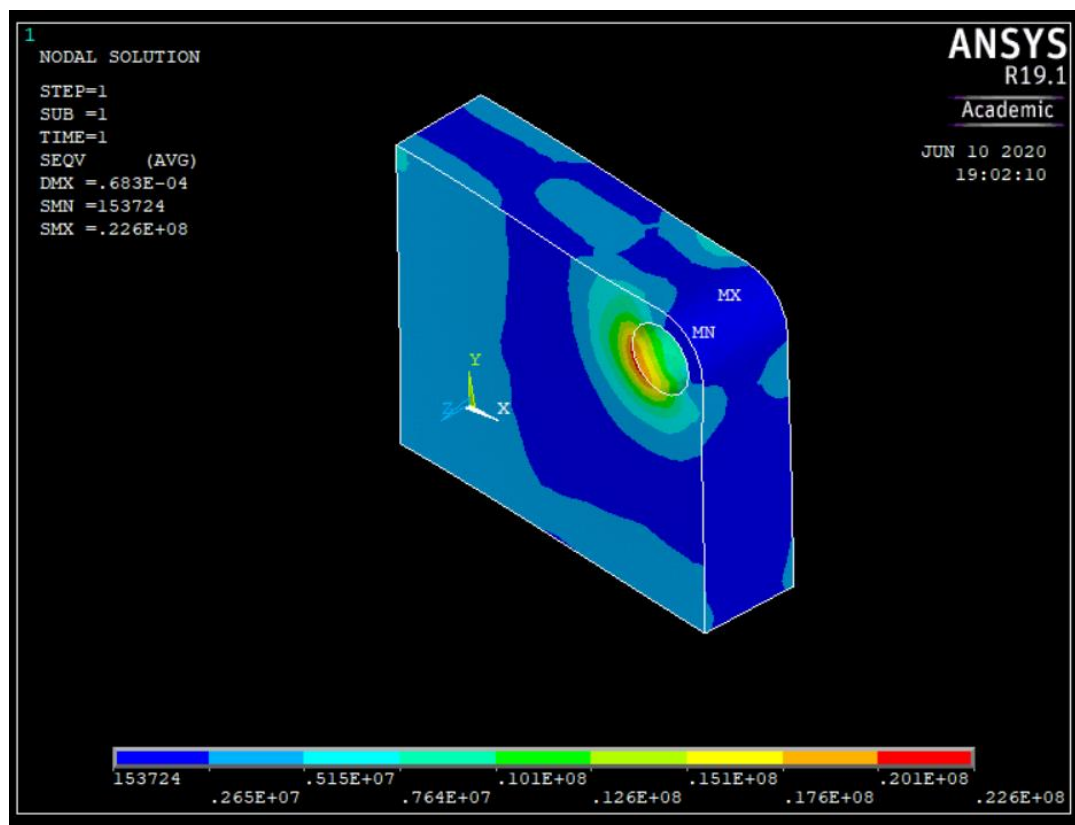


Ilustración 40 Tensiones de Von Mises del carro en Ansys.

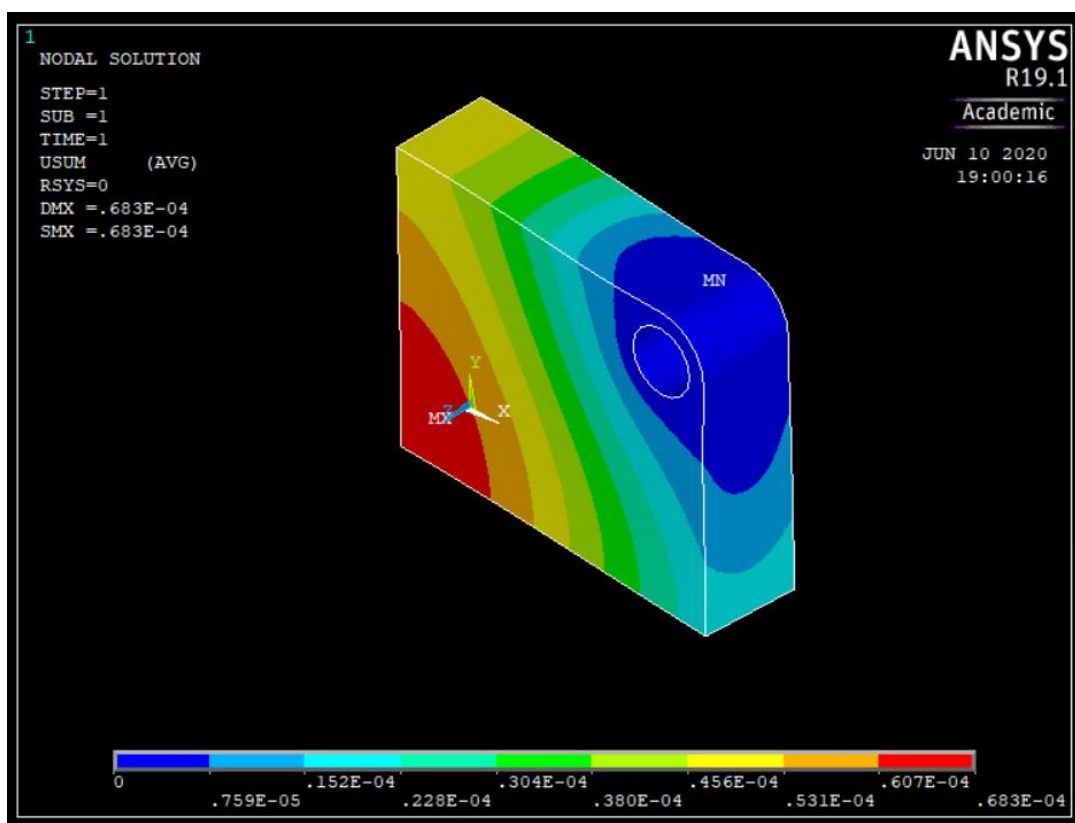


Ilustración 41 Vector desplazamiento del carro en Ansys.

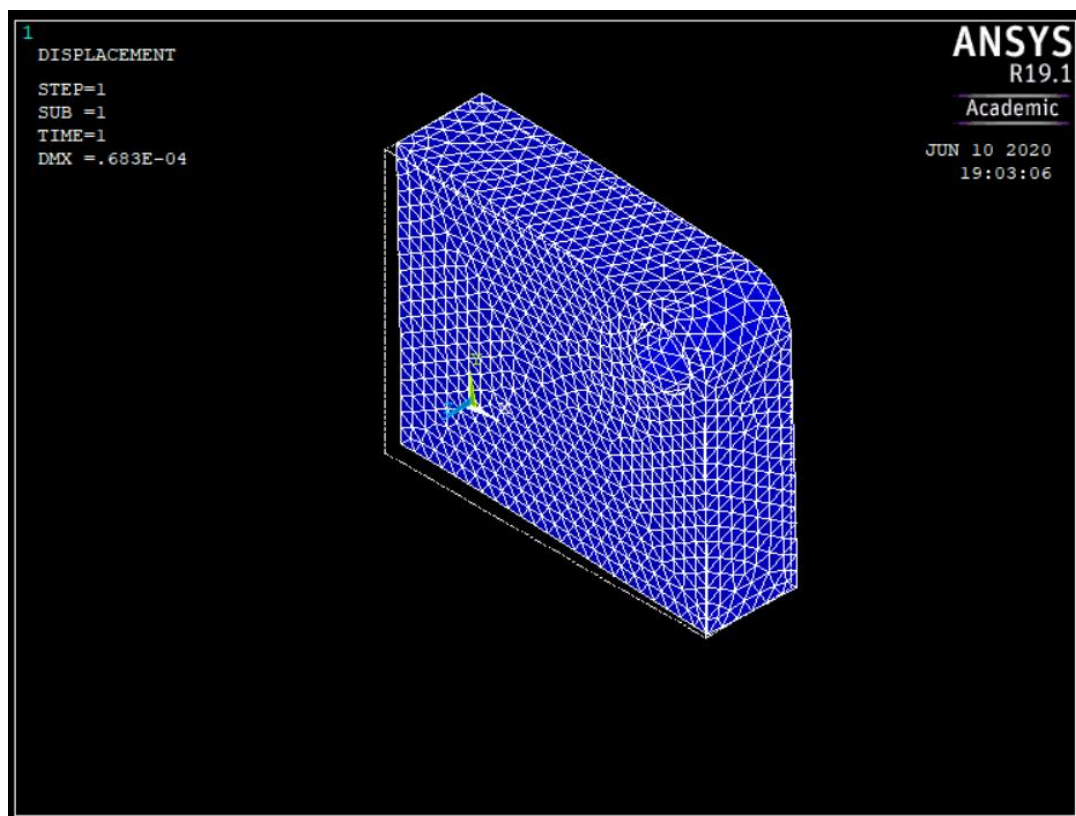


Ilustración 42 Deformada del carro en Ansys.

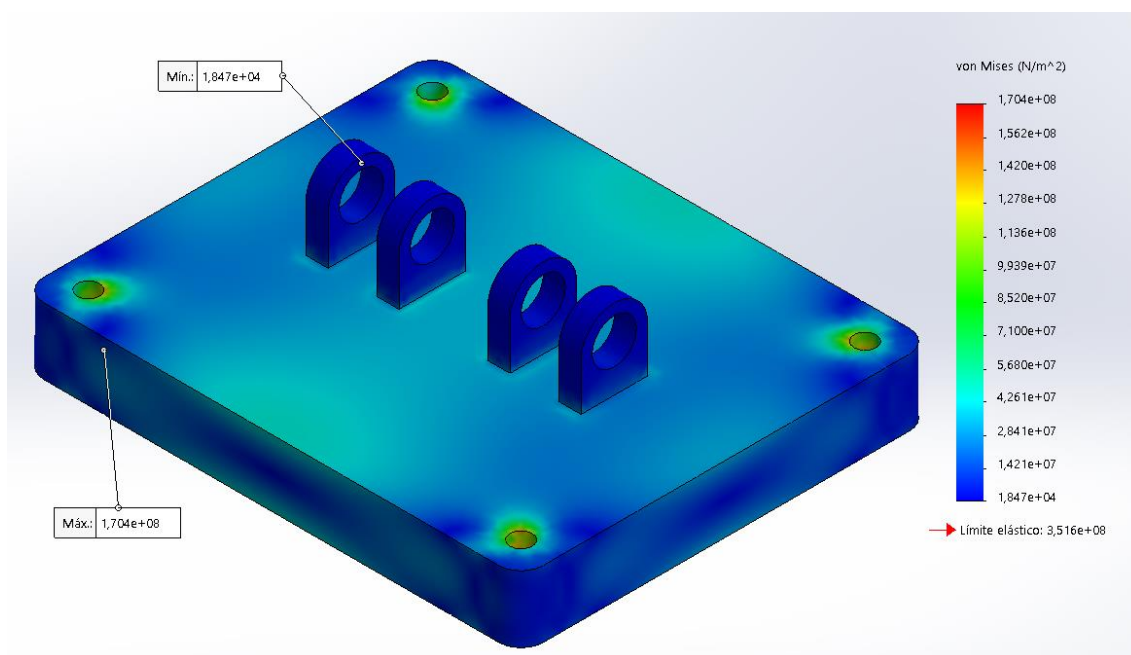


Ilustración 43 Tensiones de Von Mises de carro en Solidworks.

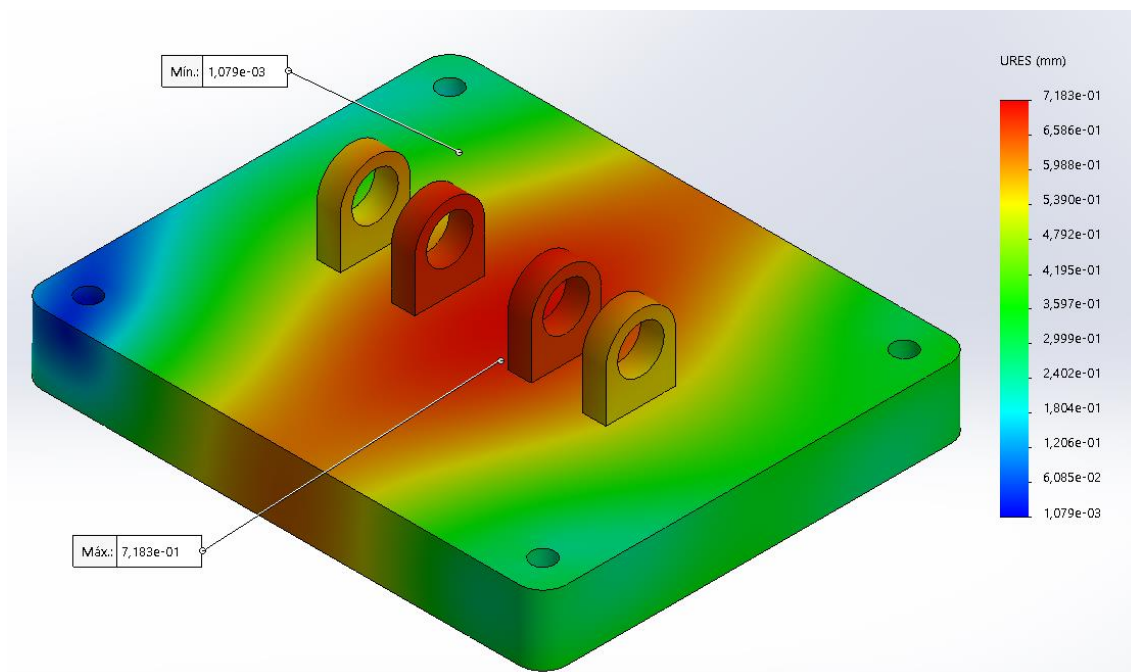


Ilustración 44 Desplazamientos del carro en Solidworks.

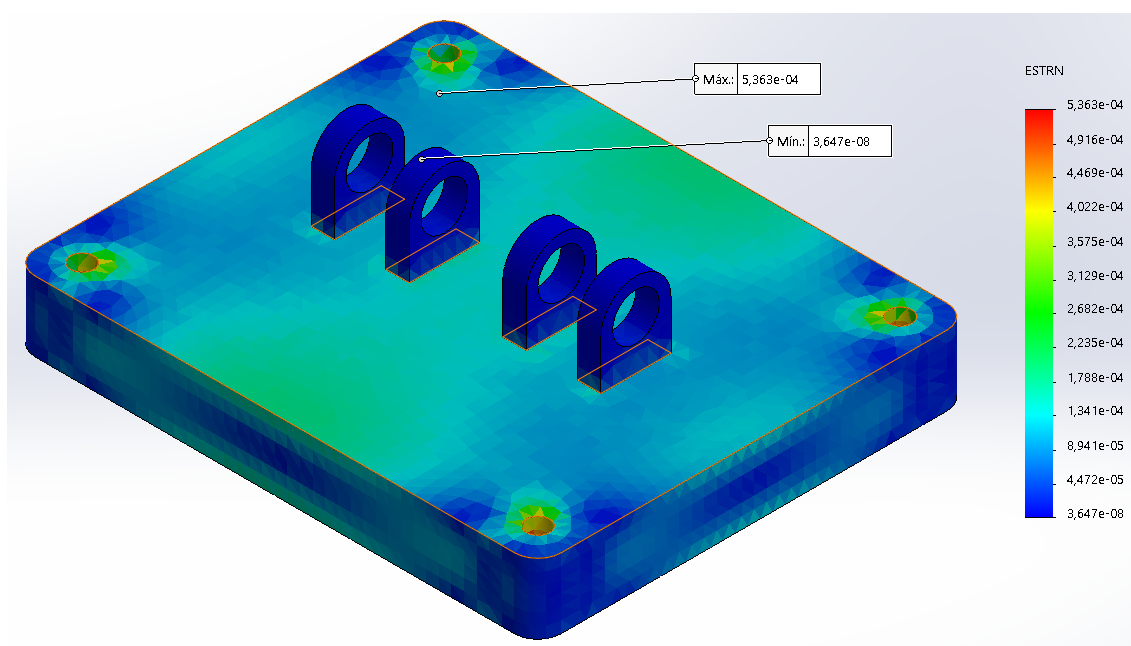


Ilustración 45 Deformaciones unitarias del carro en Solidworks.

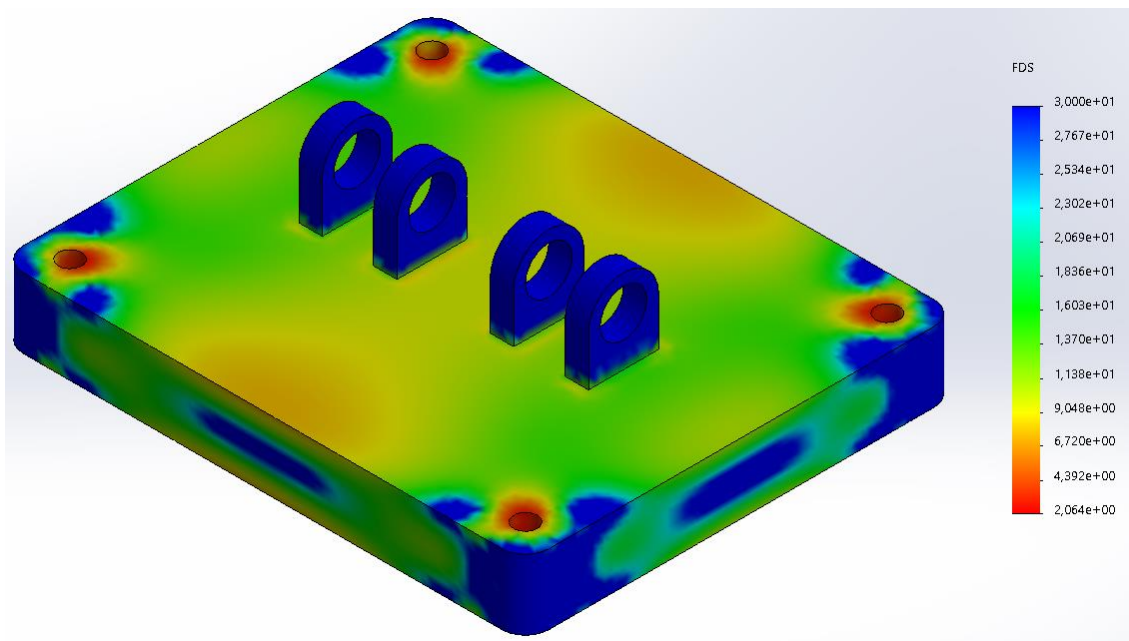


Ilustración 46 Factor de seguridad del carro obtenido en Solidworks.

Los resultados obtenidos en ambos casos son muy similares: el diseño cumple con las solicitaciones que va a soportar dado que no se supera el límite elástico en ninguno de los dos modelos y las deformaciones obtenidas son prácticamente idénticas. En cuanto a las diferencias que existen, se puede apreciar que hay cierta variación en los valores de las tensiones de Von Mises en la arista donde va la guía en las caras superior e inferior, lugar donde aparece el valor máximo. Este valor puede variar dependiendo de cómo el software calcule la concentración de tensiones en las aristas y se puede reducir mediante un pequeño chaflán que reduzca este efecto. En cuanto a las discrepancias, el resultado más fiable es el obtenido en Ansys dado que se trata de un software especializado en análisis mediante elementos finitos y por lo tanto los resultados serán más precisos.

De la última ilustración se puede observar como el carro trabaja con coeficientes de seguridad altísimos y que únicamente sufre algo la pieza en los agujeros donde van las guías, lo cual resulta lógico por el contacto.

2 Anexo 2: Plan de prevención de riesgos laborales.

Dado que la prensa mecánica históricamente ha sido una de las máquinas con mayor accidentalidad, este anexo pretende recoger todas las medidas de seguridad adoptadas con objeto de hacer cumplir la legislación en materia de prevención de riesgos laborales.

Los principales riesgos que presenta este tipo de maquinaria son:

- El atrapamiento por o entre objetos.
- Corte, aplastamiento o atrapamiento en la zona del troquel.
- Golpes o cortes provocados por objetos o herramientas, contusiones o heridas ocasionadas por piezas con las que se está trabajando o por la propia herramienta.
- Exposición al ruido y a los peligros que el ruido de la estampación conlleva, así como la proyección de fragmentos de la prensa.
- Contacto eléctrico de manera directa o indirecta.
- Exposición a contactos térmicos con componentes mecánicos como frenos, embragues y otros sistemas neumáticos.

Algunas de las causas de estos riesgos son las siguientes:

- Accionamiento intempestivo.
- Acceso de un tercer operario mientras está operando la máquina
- Descuido del propio operario durante labores de mantenimiento y reglaje.
- Existencia de mandos de accionamiento poco seguros, así como la ausencia de medidas de seguridad adicionales como por ejemplo sensores fotoeléctricos.
- Falta de Equipos de Protección Individuales (EPI's) y colectivos como pueden ser botas de seguridad, gafas protectoras o carcasas fijas entre otras.

De manera general y aplicable a la gran mayoría de la industria, se recomiendan las siguientes medidas preventivas generales:

- Procurar tener a mano instrucciones de uso y todos los procedimientos estándar que afecten a la máquina, así como los registros de mantenimiento de la misma.
- Para realizar el reglaje, se procurarán sistemas de doble mando de sistemas de pedal para obtener una mayor seguridad. En la medida de lo posible, se intentará que estas tareas las realice personal experimentado.
- Para realizar tareas de preparación, reparación o mantenimiento, llevar a cabo el trabajo con el motor parado. En caso de tratarse de operaciones en la zona de matriz, colocar un bloque entre platos.
- Uso de gafas de protección, calzado de seguridad y protección auditiva (esta última protección solo para prensas que exceden los 85 dB).

También se han contemplado una serie de medidas más específicas aplicadas a prensas, las cuales aparecen a continuación:

- Si se trata de una prensa de revolución total, las cuales una vez inician el ciclo de trabajo no se pueden detener, se deben implementar, por lo menos, uno de los siguientes sistemas en la zona de trabajo:
 - Troquel cerrado.
 - Resguardos fijos perimetrales.

- Resguardos fijos combinados con un resguardo móvil con enclavamiento y bloqueo.
- Resguardo asociado con un mando de dispositivo de bloqueo.

De esta manera, se pretende evitar el acceso de los operarios a la zona de trabajo donde se encuentran presentes todos estos peligros.

- Si se trata de una prensa de revolución parcial, las medidas de seguridad a implementar, además de las ya mencionadas para una prensa de revolución total, son:
 - Resguardos con dispositivos de enclavamiento de apertura prematura siempre y cuando los recorridos de PMI y PMS no presenten riesgos.
 - Barrera fotoeléctrica que impida permanecer en el interior de la zona peligrosa.
 - Mando bimanual de tipo IIIC (maniobra síncrona y categoría 4)



Ilustración 47 Ejemplo de pupitre de mando bimanual.

- Protección de los elementos de transmisión tales como volante, correas o engranajes con resguardos fijos. En caso de que el acceso a algún elemento de este tipo sea habitual, colocar protecciones móviles con enclavamiento que impidan la puesta en marcha del motor.

Además de todas las medidas ya comentadas, la máquina deberá ajustarse a los requisitos y exigencias de la normativa vigente y deberá contar con el certificado CE.

En cuanto a las medidas de protección específicas para la prensa mecánica, se ha tomado como referencia la norma UNE – EN 692:2006 + A1:2009.

En Logroño, a fecha 6 de julio de 2020.

Firmado:

Juan Palomino Montiel





**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

PRENSA TRY – OUT DE 4000 KN EN ENTORNO RV

PLANOS

JUAN PALOMINO MONTIEL

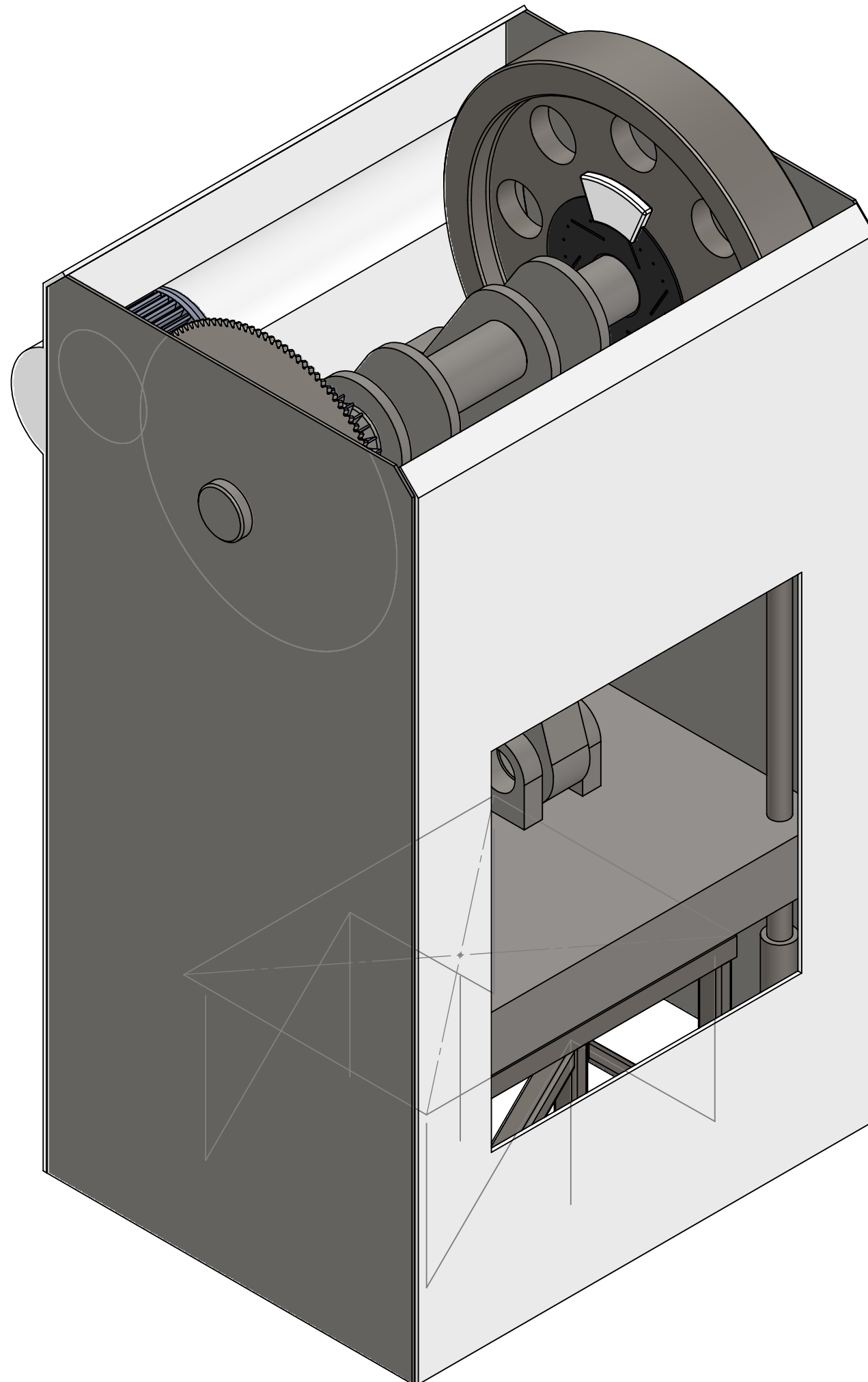
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial


Grado en Ingeniería Mecánica

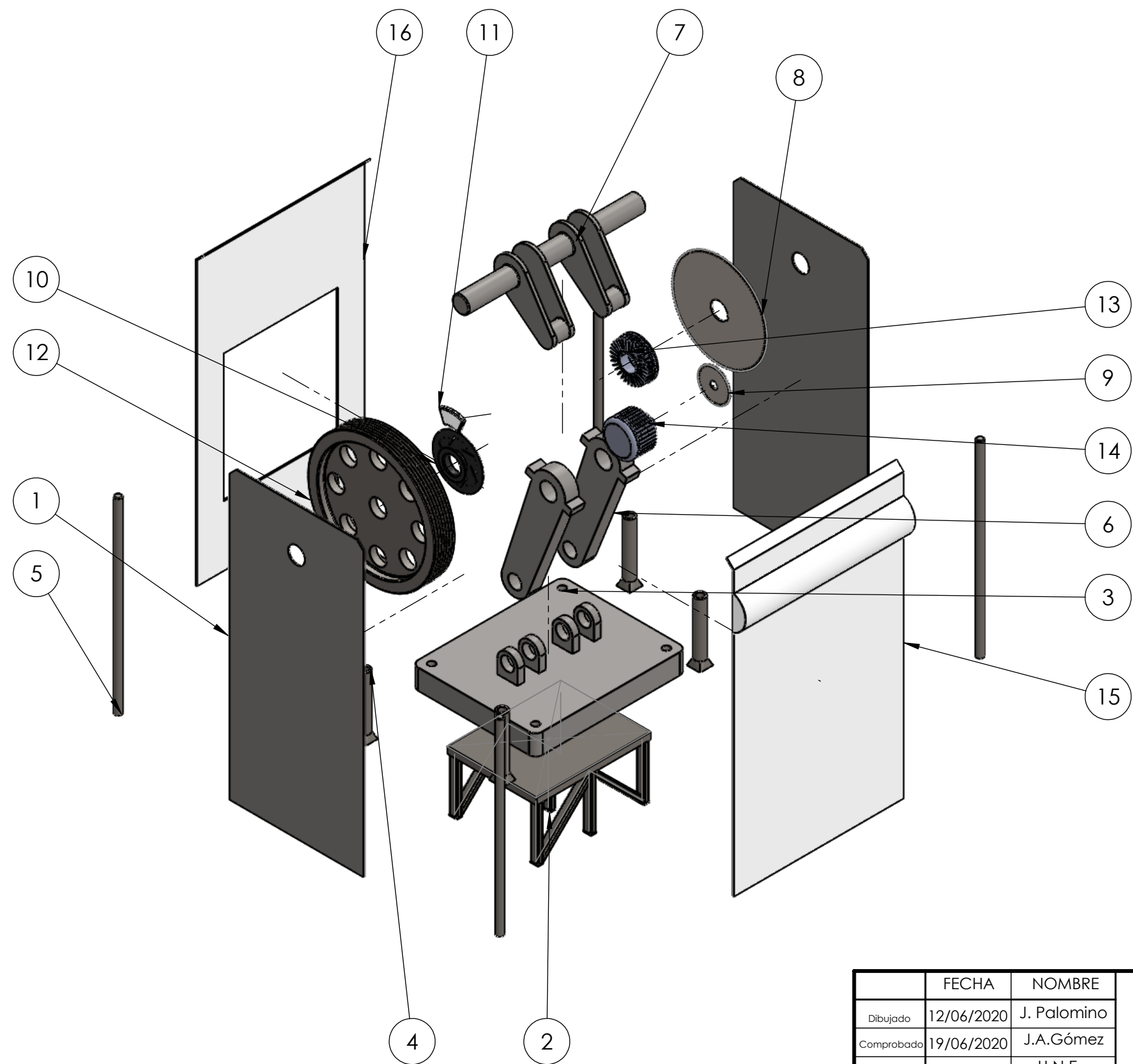
6 de julio de 2020

Índice de planos

1	Planos de conjunto.....	2
1.1	Montaje de la prensa	3
1.2	Prensa despiezada.....	4
1.3	Cadena cinemática explosionada.....	5
1.4	Soporte estructural despiezado	6
2	Planos de miembros de la cadena cinemática	7
2.1	Cigüeñal.....	8
2.2	Biela.....	9
2.3	Piñón	10
2.4	Corona	11
2.5	Disco de freno	12
2.6	Pinza de freno.....	13
2.7	Volante de inercia	14
3	Planos de elementos estructurales	15
3.1	Chapa del bastidor	16
3.2	Mesa.....	17
3.3	Carro.....	18
3.4	Cilindro guía del carro	19
3.5	Cilindro guía del carro exterior.....	20
3.6	Pantalla frontal.....	21
3.7	Pantalla trasera	22



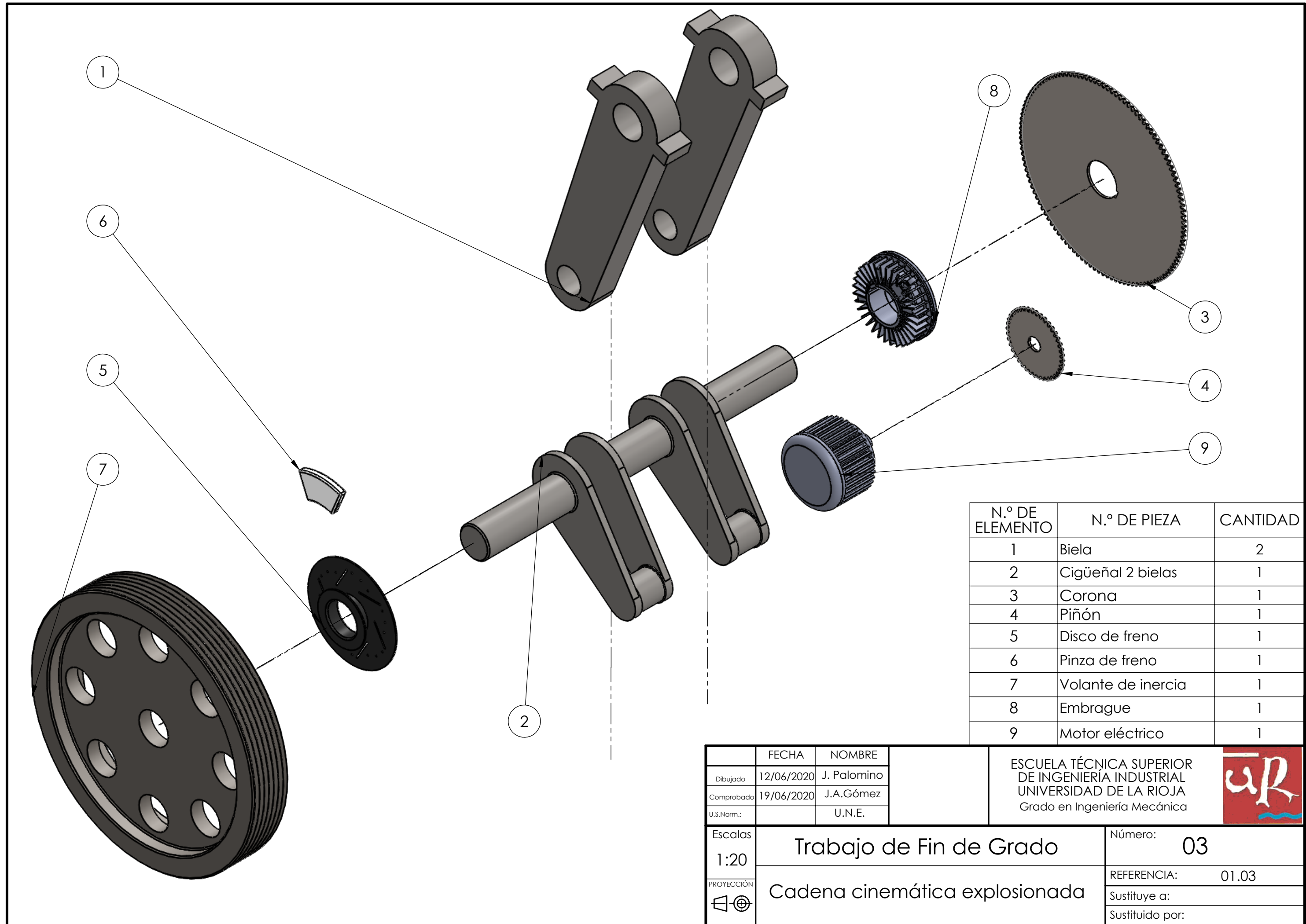
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino		
Comprobado	19/06/2020	J.A.Gómez		
U.S.Norm.:		U.N.E.		
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número: 01
1:20				REFERENCIA: 01.01
PROYECCIÓN	Montaje de la prensa			Sustituye a:
				Sustituido por:



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Chapa Bastidor	2
2	Mesa perfiles	1
3	Carro	1
4	Cilindro Guía Grande	4
5	Cilindro Guía Interior	4
6	Biela	2
7	Cigüeñal 2 bielas	1
8	Metric - RH Helical gear 10M 120T 30HA 20PA 15,71FW --- 120N75H50L250.0R1	1
9	Metric - RH Helical gear 10M 40T 30HA 20PA 15,71FW --- 40N75H50L100.0R1	1
10	Disco de freno	1
11	Pinza de freno	1
12	Volante de inercia	1
13	Embrague	1
14	Motor eléctrico	1
15	Pantalla PMMA	1
16	Pantalla frontal	1

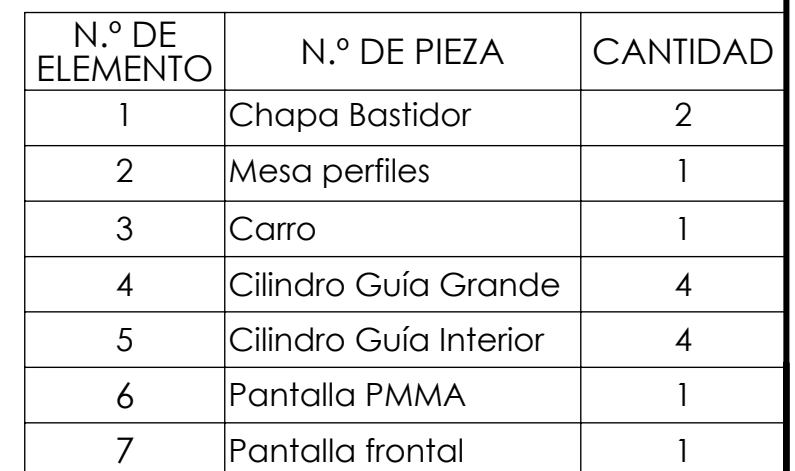
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino		
Comprobado	19/06/2020	J.A.Gómez		
U.S.Norm.:		U.N.E.		
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número: 02
1:50				REFERENCIA: 01.02
PROYECCIÓN	Prensa despiezada			Sustituye a:
				Sustituido por:





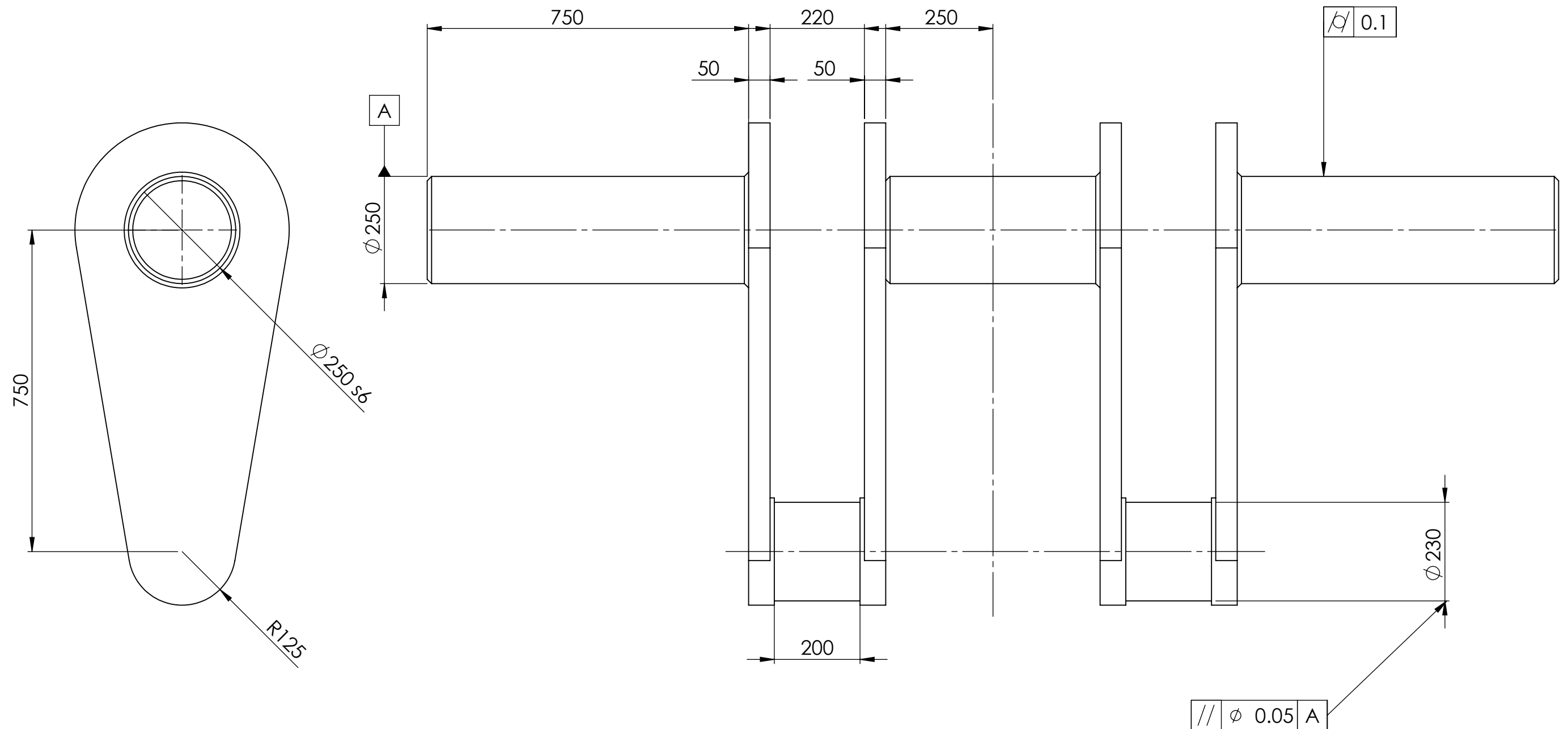
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Biela	2
2	Cigüeñal 2 bielas	1
3	Corona	1
4	Piñón	1
5	Disco de freno	1
6	Pinza de freno	1
7	Volante de inercia	1
8	Embrague	1
9	Motor eléctrico	1

	FECHA	NOMBRE		ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino			
Comprobado	19/06/2020	J.A.Gómez			
U.S.Norm.:		U.N.E.			
Escalas	Trabajo de Fin de Grado				Número: 03
1:20					REFERENCIA: 01.03
PROYECCIÓN	Cadena cinemática explosionada				Sustituye a:
					Sustituido por:

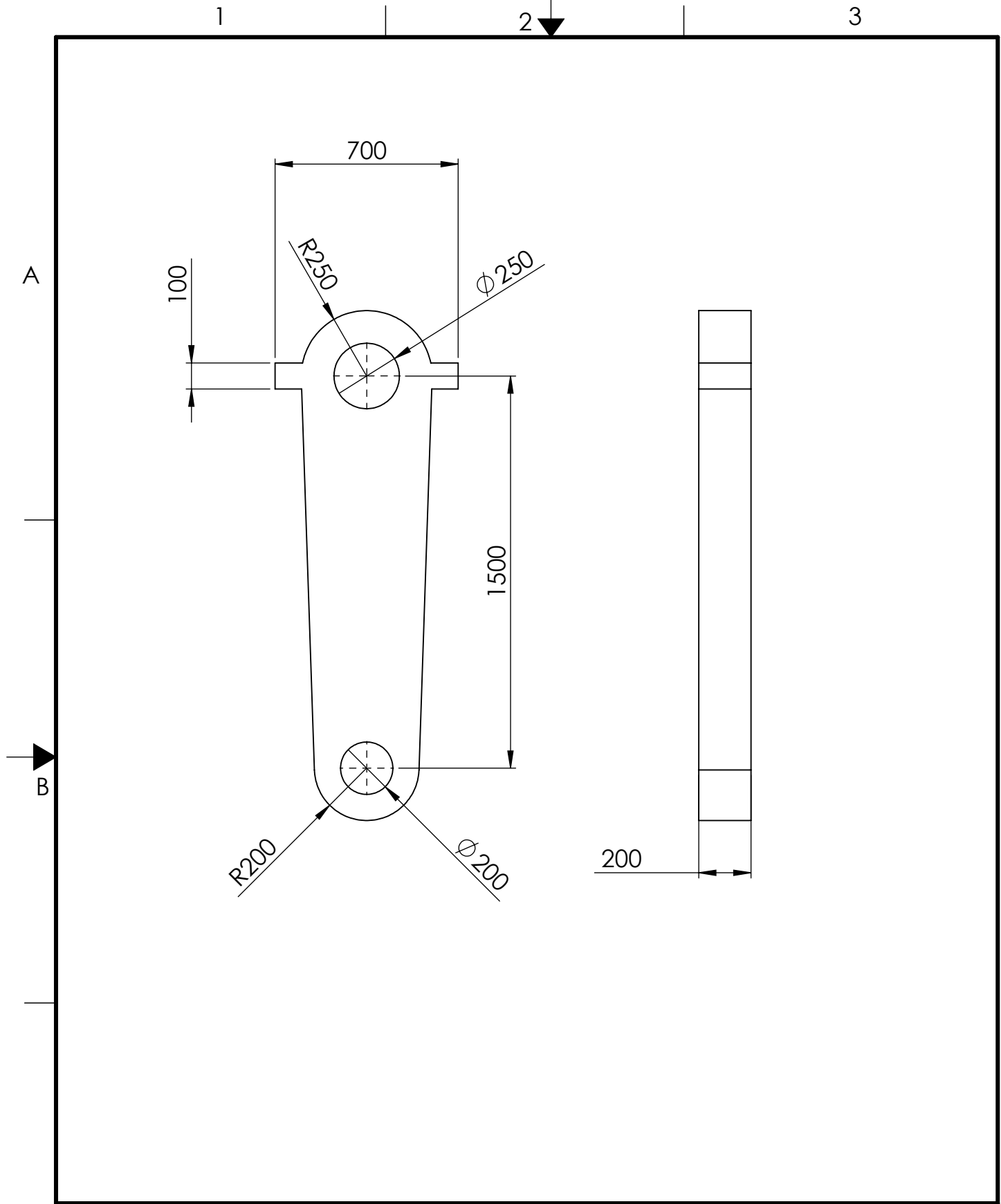


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Todos los chaflanes del plano son de valor 10 x 45°



	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino			
Comprobado	19/06/2020	J.A.Gómez			
U.S.Norm.:		U.N.E.			
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número:	01
1:10				REFERENCIA:	02.01
PROYECCIÓN	Cigüeñal			Sustituye a:	
				Sustituido por:	



C

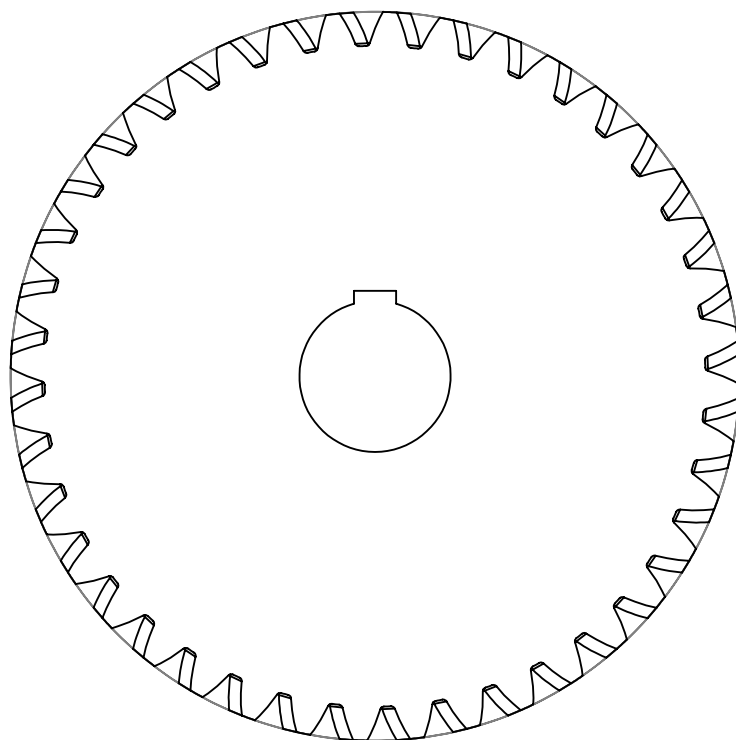
	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino			
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez			
U.S.Norm.:		U.N.E.			
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número:	02
1:20				REFERENCIA:	02.02
PROYECCIÓN	Biela			Sustituye a:	
				Sustituido por:	

1

2

3



A



B

m	10	mm
ϕn	20	°
ψ	30	°
Z	40	dientes
d	400	mm
d ext	410	mm
d int	387,5	mm
e	31,42	mm

C

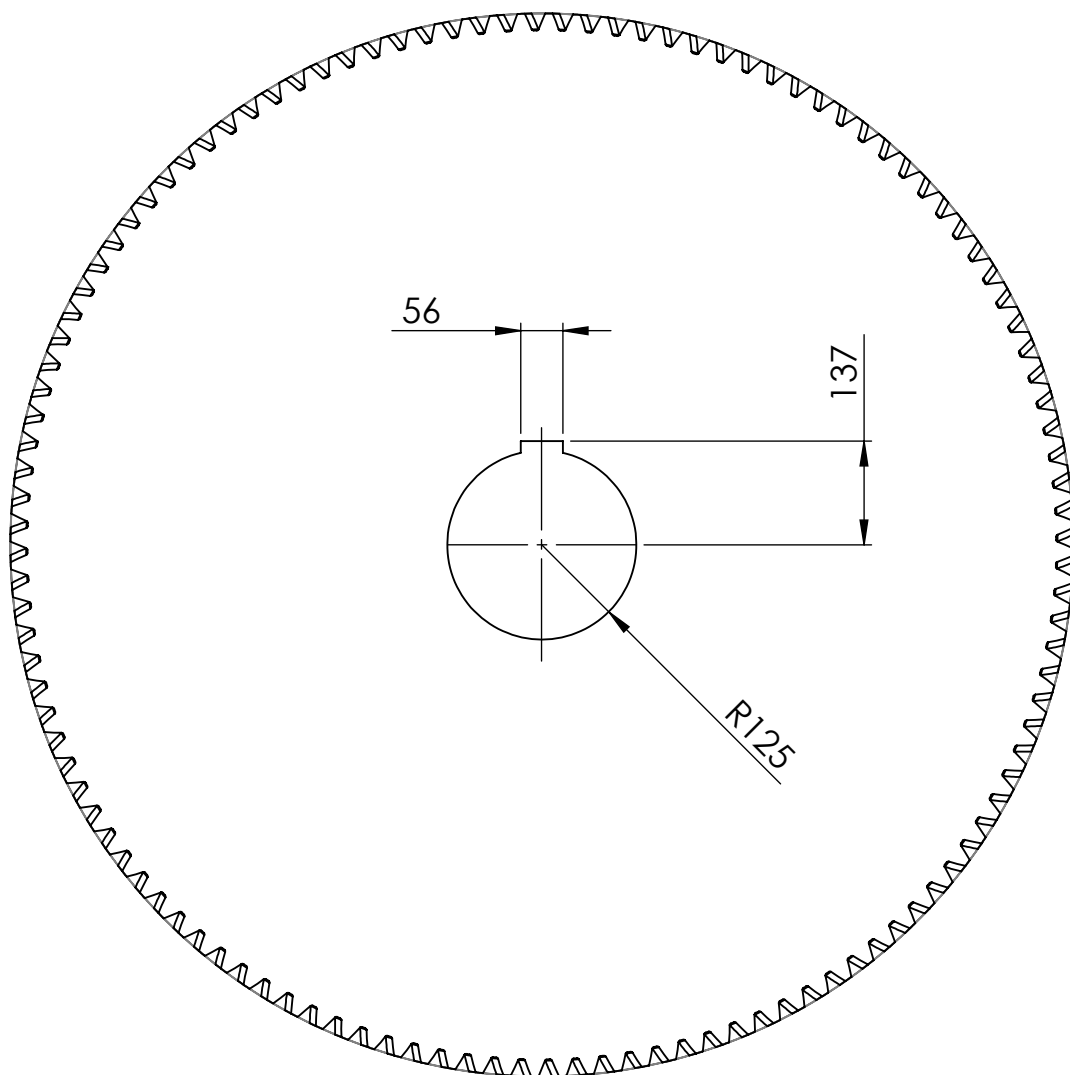
	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino		
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez		
U.S.Norm.:		U.N.E.		
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número: 03
1:5				REFERENCIA: 02.03
PROYECCIÓN	Piñón			Sustituye a:
				Sustituido por:

1

2

3

A



B

m	10	mm
ϕn	20	°
ψ	30	°
Z	120	dientes
d	1200	mm
d ext	1210	mm
d int	1187,5	mm
e	31,42	mm

C

	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino		
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez		
U.S.Norm.:		U.N.E.		
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número: 04
1:10				
PROYECCIÓN	Corona			REFERENCIA: 02.04
				Sustituye a:
				Sustituido por:

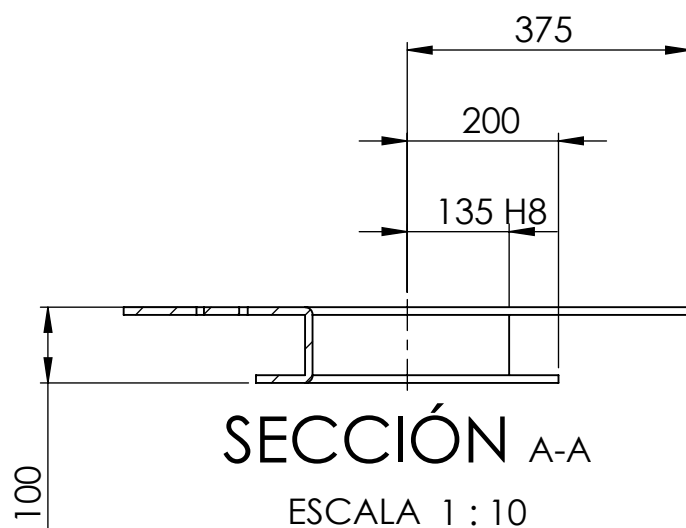
1

2

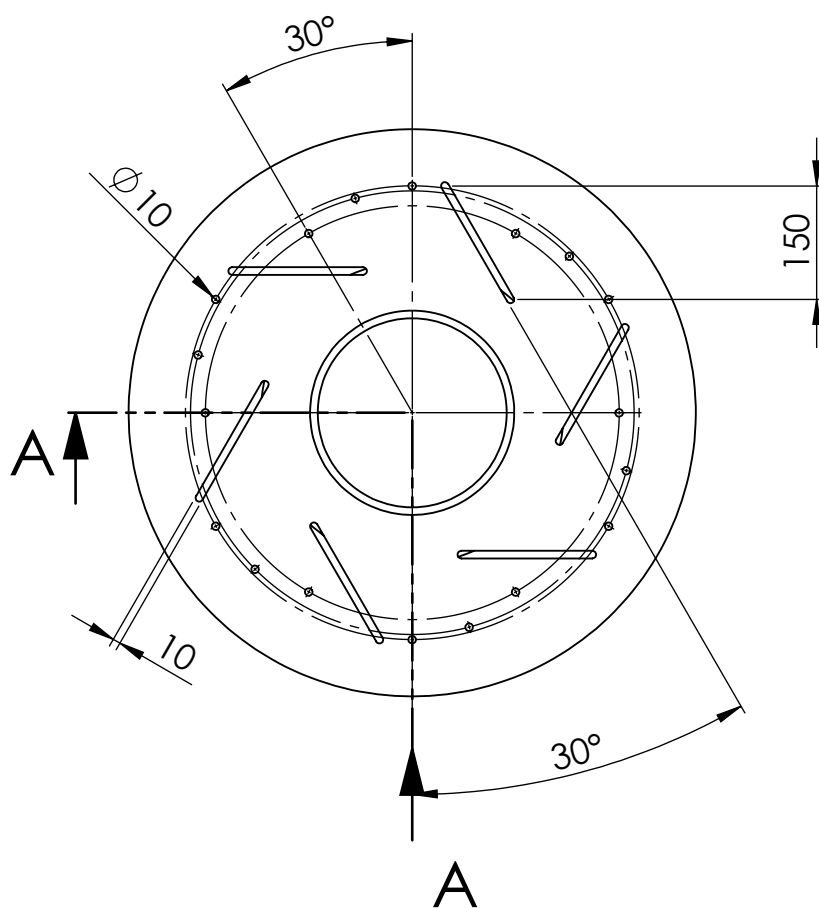
3

Todos los redondeos son de valor R10

A



B



C

	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino		
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez		
U.S.Norm.:		U.N.E.		
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número: 05
1:10				
PROYECCIÓN	Disco de freno			REFERENCIA: 02.05
				
				Sustituye a:
				Sustituido por:

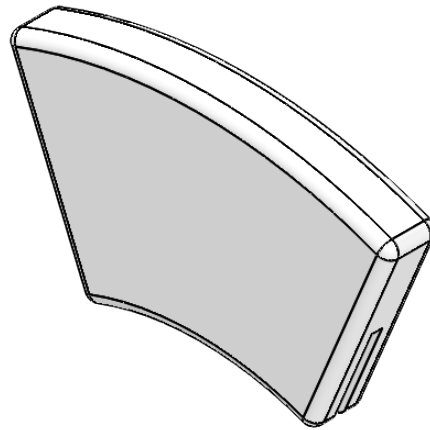
1

2

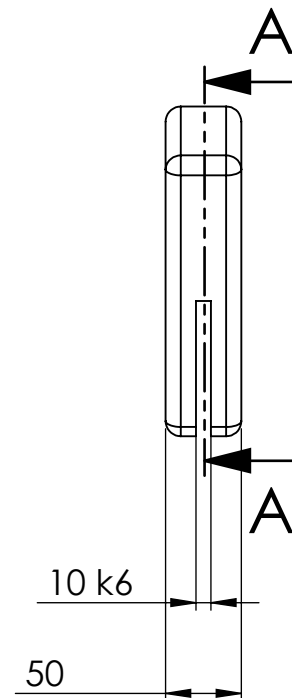
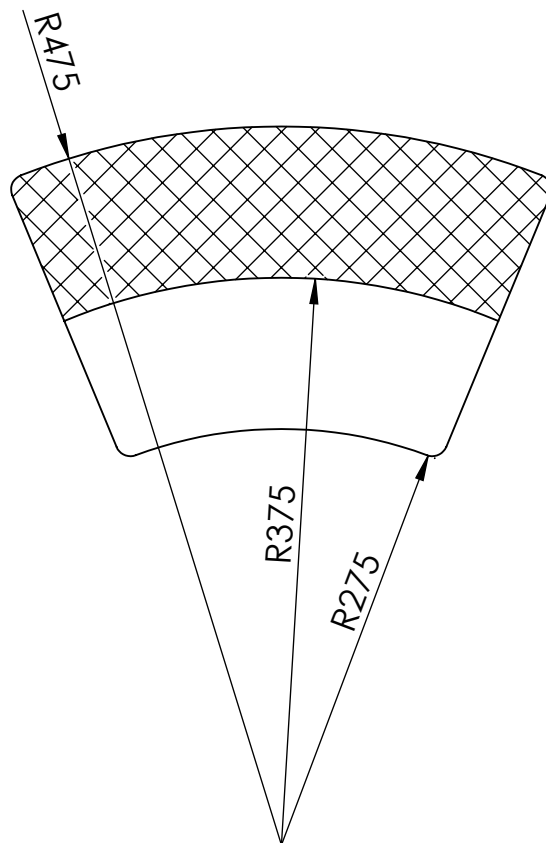
3

Todos los redondeos son de valor R10

A



SECCIÓN A-A

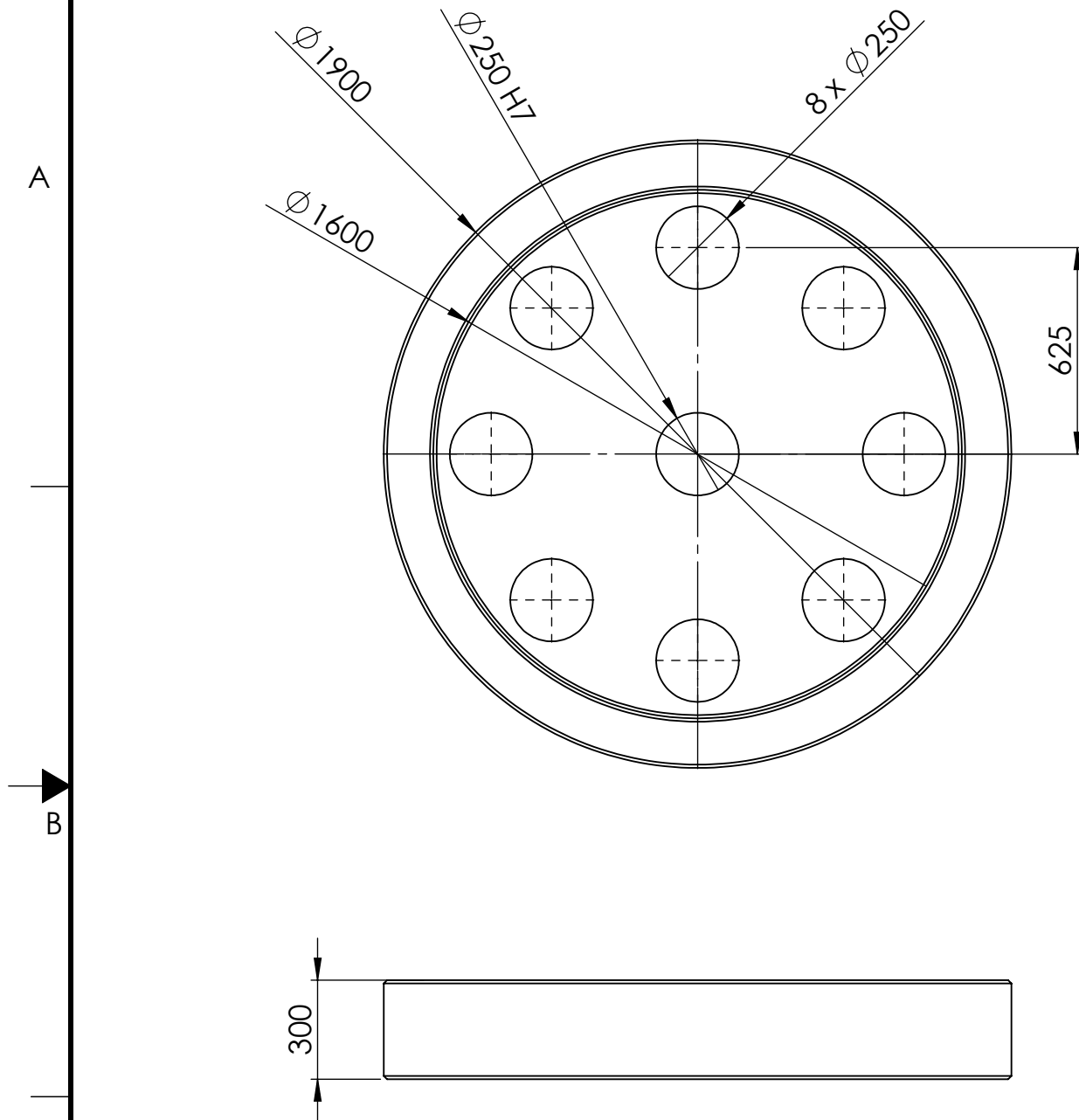


B

C

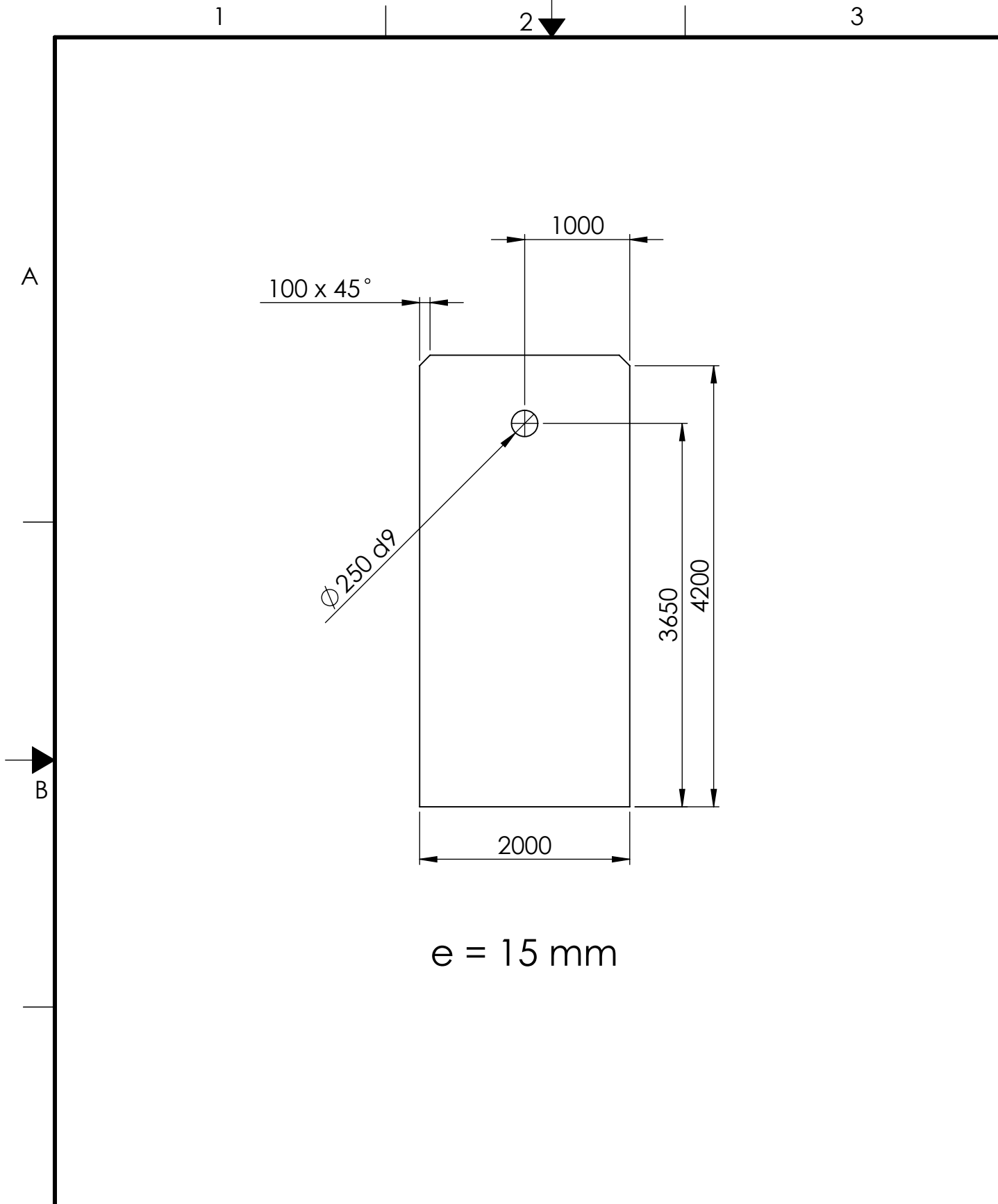
	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino			
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez			
U.S.Norm.:		U.N.E.			
Escalas 1:5	Trabajo de Fin de Grado Pinza de freno			Número:	06
PROYECCIÓN 				REFERENCIA:	02.06
				Sustituye a:	
				Sustituido por:	

Todos los chaflanes del plano son de valor 10 x 45°



C

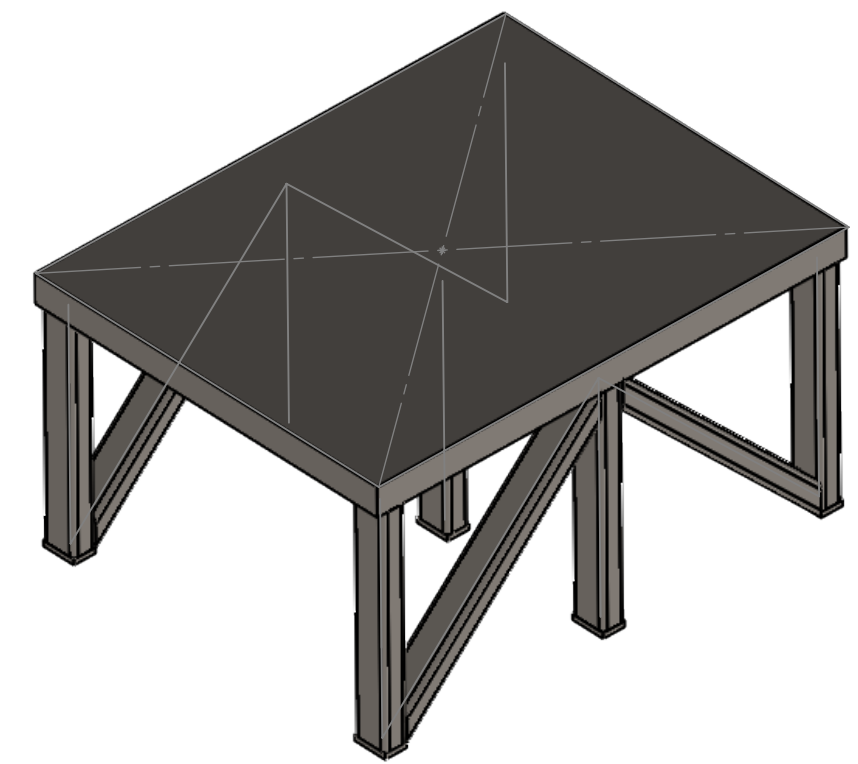
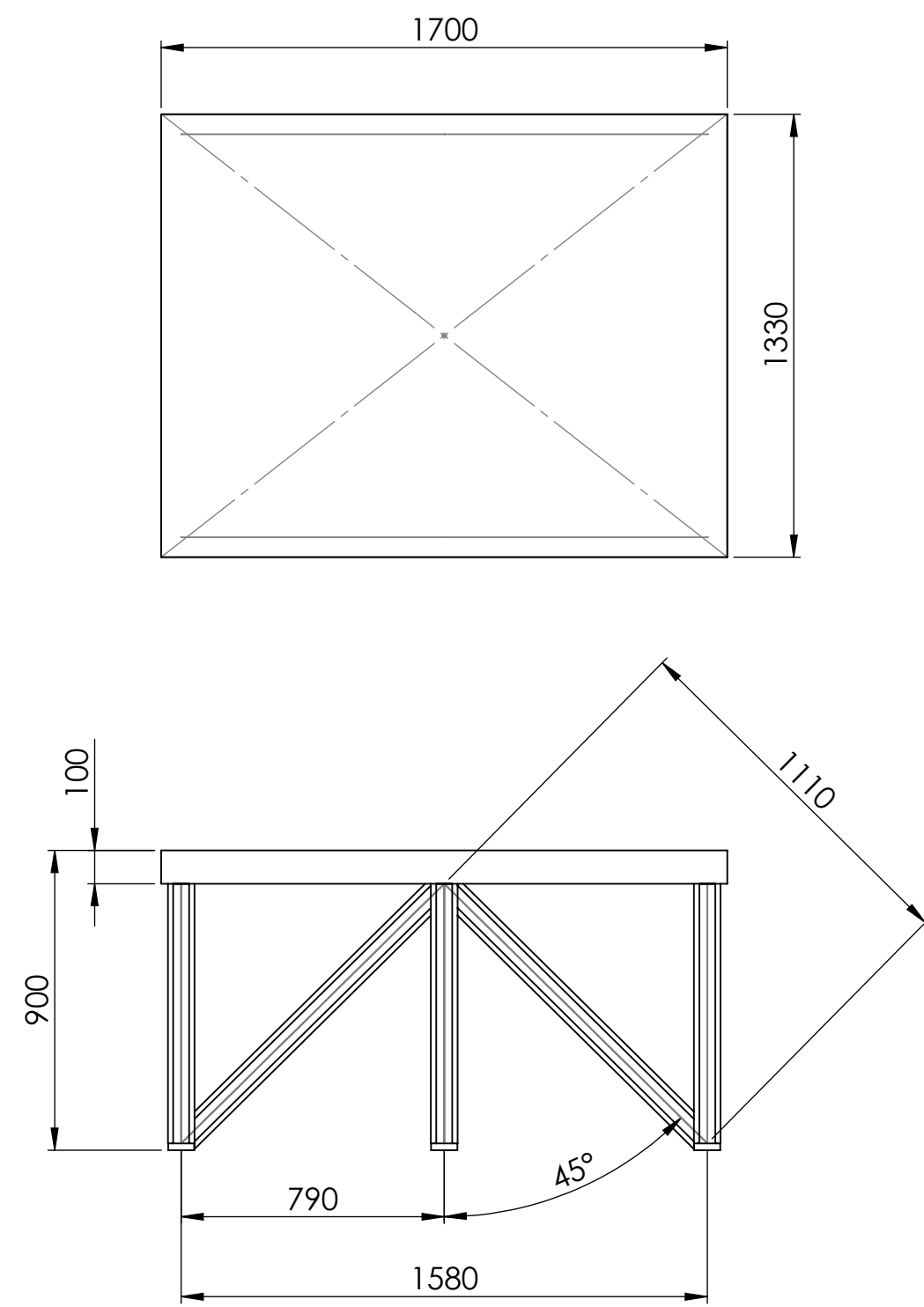
	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino			
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez			
U.S.Norm.:		U.N.E.			
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número:	07
1:20				REFERENCIA:	02.07
PROYECCIÓN	Volante de inercia			Sustituye a:	
				Sustituido por:	



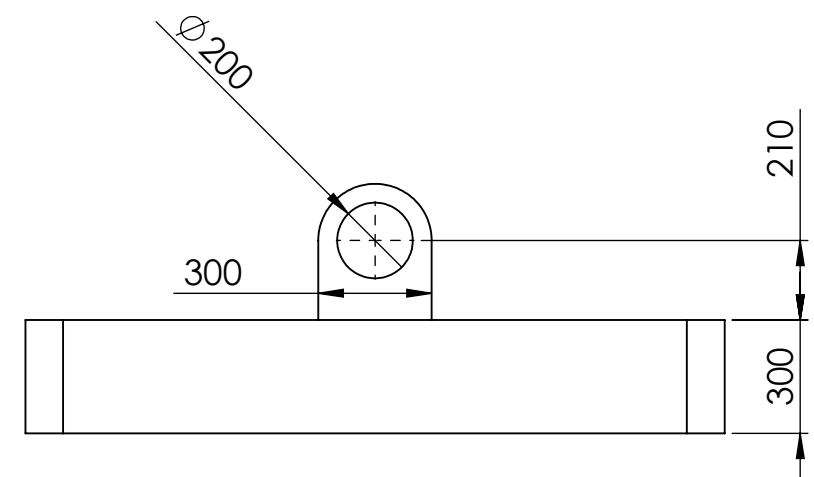
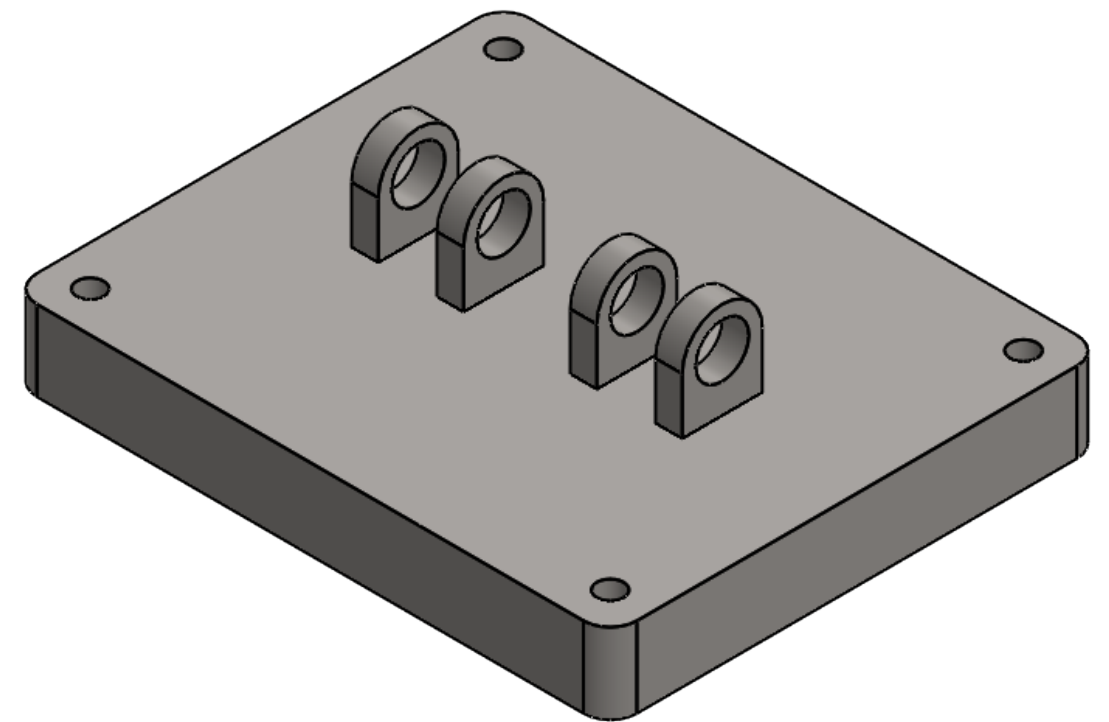
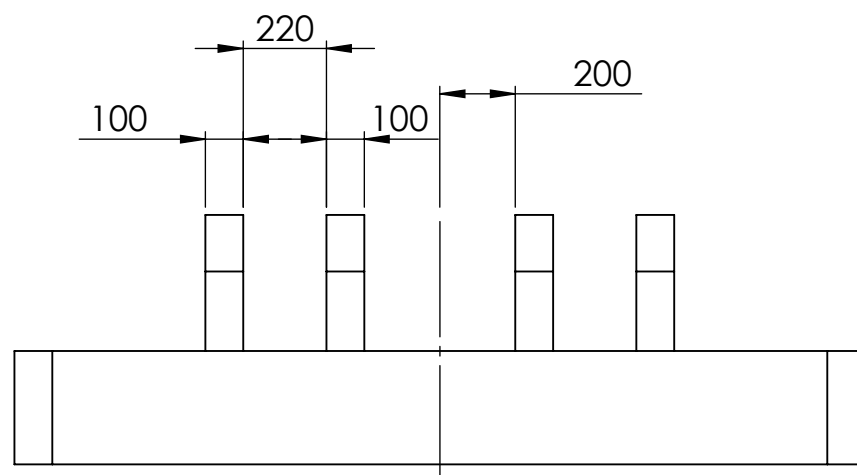
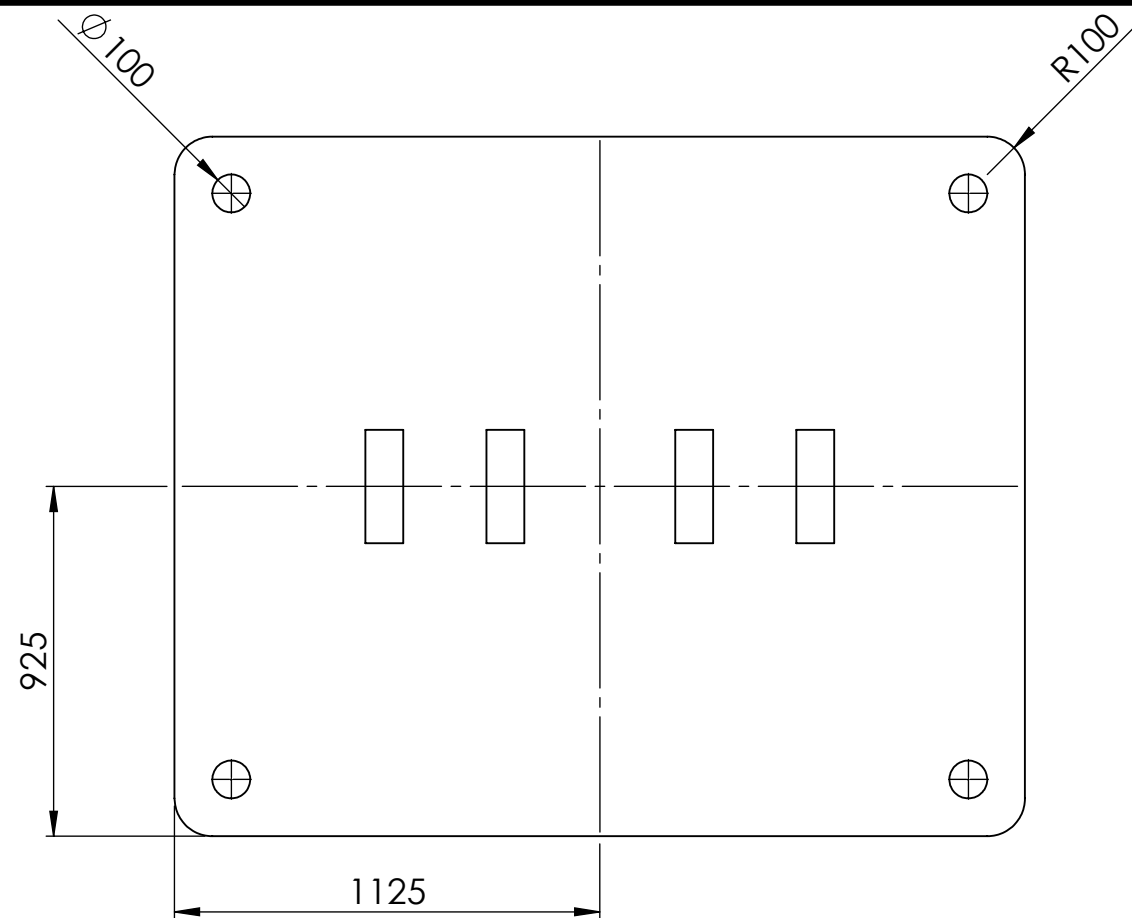
C


	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino		
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez		
U.S.Norm.:		U.N.E.		
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número: 01
1:50				
PROYECCIÓN	Chapa del bastidor			REFERENCIA: 03.01
				Sustituye a:
				Sustituido por:

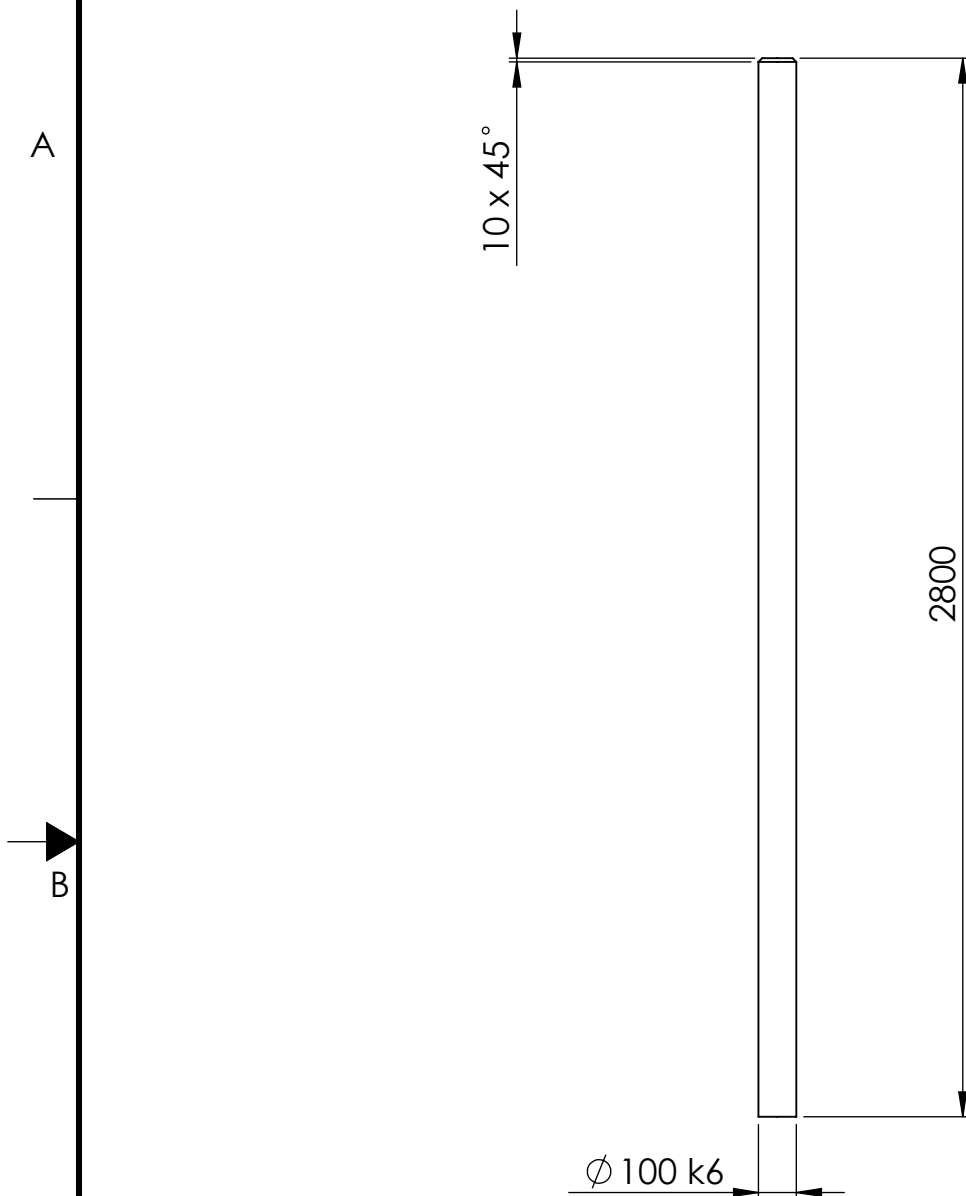
Todos los chaflanes del plano son de valor 10 x 45°
Los perfiles que conforman las patas son perfiles tubulares rectangulares ISO 120x80x8
Las patas en contacto con el suelo llevan tapas de 120 x 80 x 20



	FECHA	NOMBRE	<div>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica</div> <div></div>	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino		
Comprobado	19/06/2020	J.A.Gómez		
U.S.Norm.:		U.N.E.		
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número: 02
1:20				REFERENCIA: 03.02
PROYECCIÓN	Mesa			Sustituye a:
				Sustituido por:

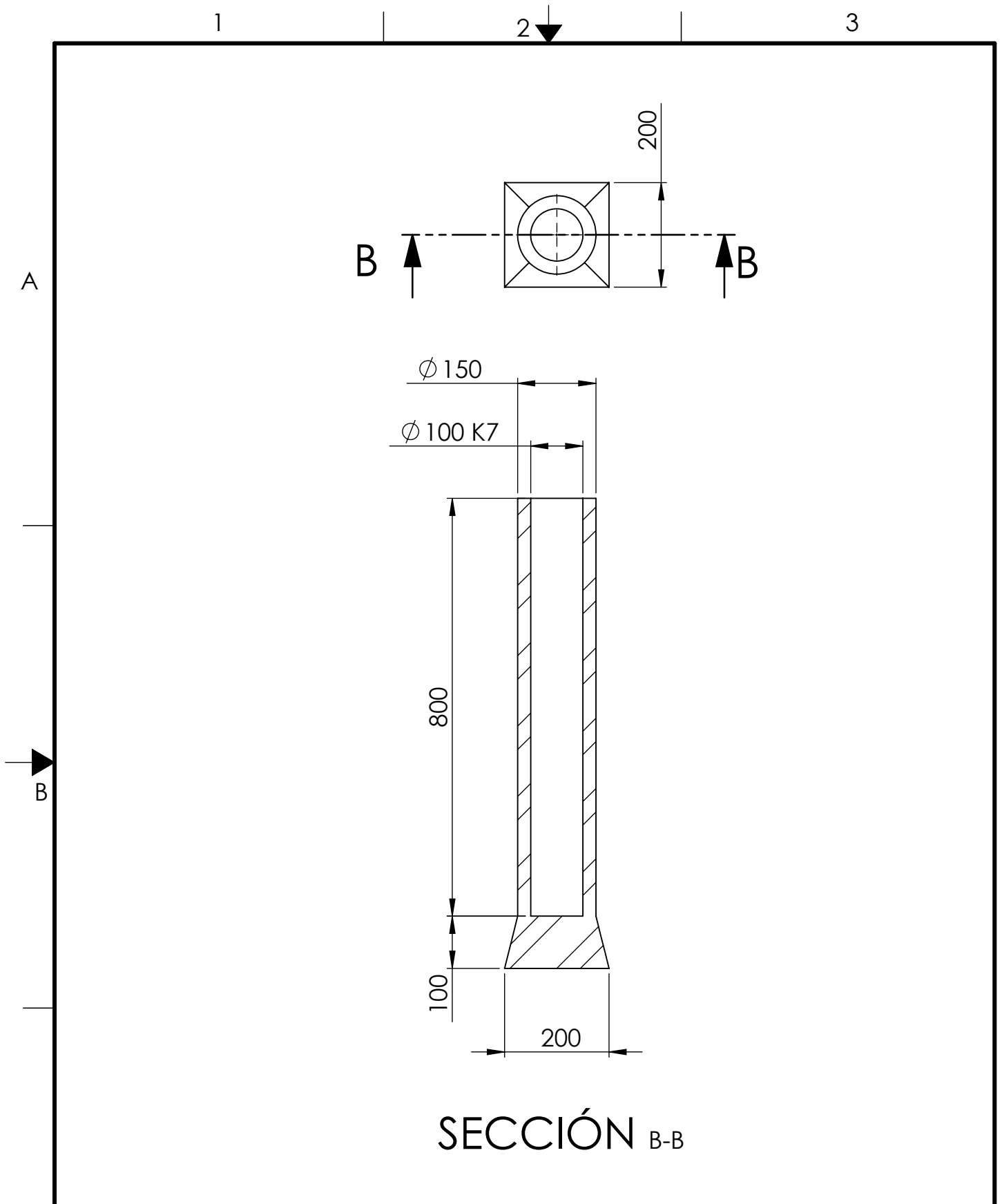


	FECHA	NOMBRE	<div> <div>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA</div> <div>Grado en Ingeniería Mecánica</div> <div>  </div> </div>
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino	
Comprobado	19/06/2020	J.A.Gómez	
U.S.Norm.:		U.N.E.	
Escalas	Trabajo de Fin de Grado		Número: 03
1:20	Carro		REFERENCIA: 03.03
PROYECCIÓN			Sustituye a:
			Sustituido por:





C

	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino			
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez			
U.S.Norm.:		U.N.E.			
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número:	04
1:20					
PROYECCIÓN	Cilindro guía del carro			REFERENCIA:	03.04
				Sustituye a:	
				Sustituido por:	



C

	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino			
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez			
U.S.Norm.:		U.N.E.			
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número:	05
1:10				REFERENCIA:	03.05
PROYECCIÓN	Cilindro guía del carro exterior			Sustituye a:	
				Sustituido por:	

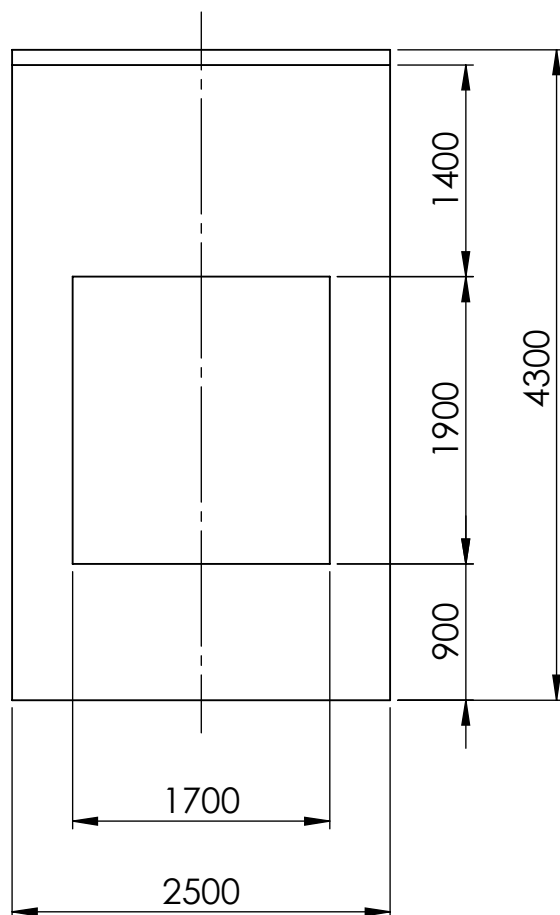
1

2

3

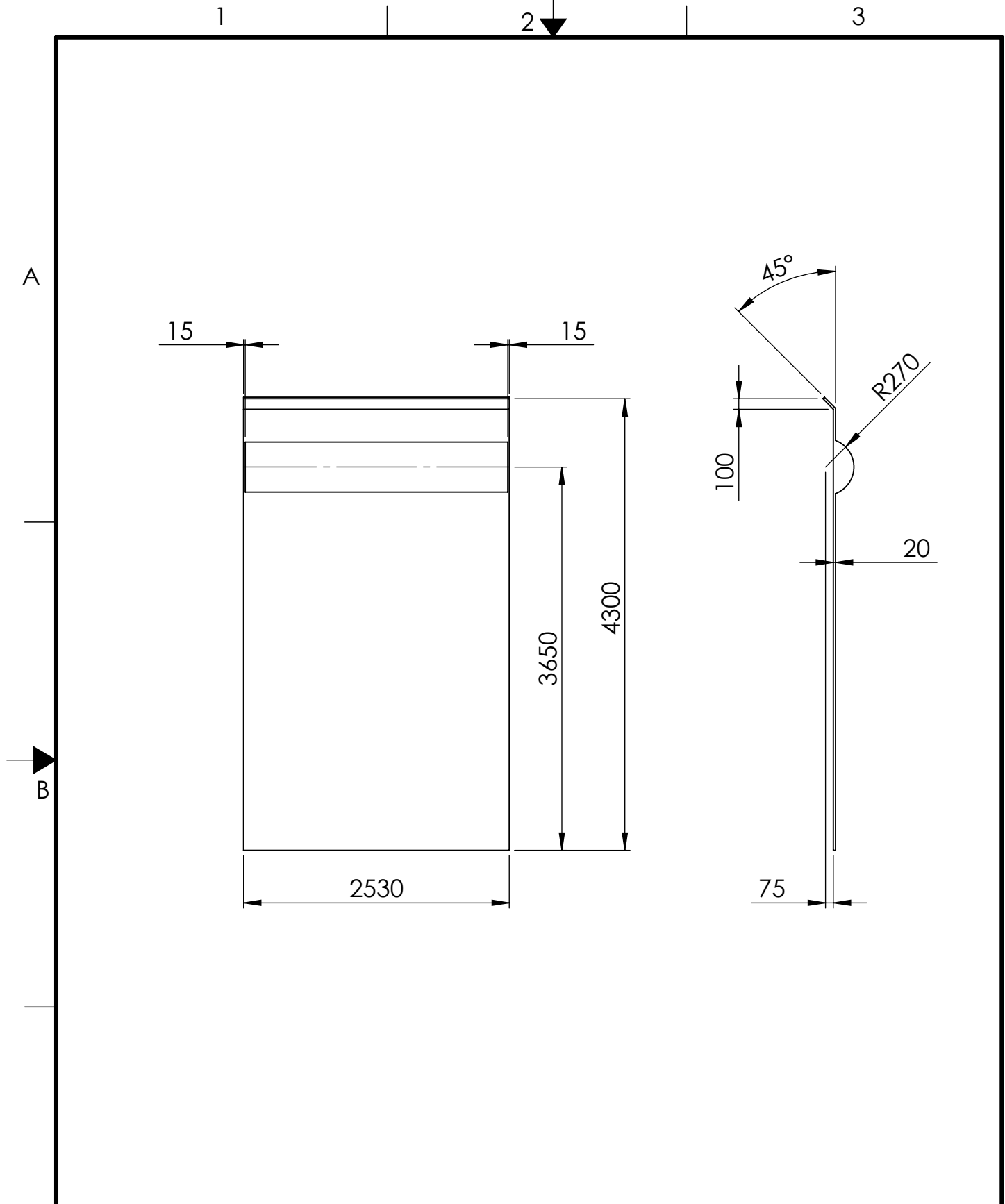
A

B



C

	FECHA	NOMBRE	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino		
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez		
U.S.Norm.:		U.N.E.		
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número: 06
1:50				REFERENCIA: 03.06
PROYECCIÓN	Pantalla frontal			Sustituye a:
				Sustituido por:



C

	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA Grado en Ingeniería Mecánica	
Dibujado	12/06/2020	J. Palomino			
Comprobado	19/06/2020	J.A. Gómez			
U.S.Norm.:		U.N.E.			
Escalas	Trabajo de Fin de Grado			Número:	07
1:50				REFERENCIA:	03.07
PROYECCIÓN	Pantalla trasera			Sustituye a:	
				Sustituido por:	

En Logroño, a fecha 6 de julio de 2020.

Firmado:

Juan Palomino Montiel





**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

PRENSA TRY – OUT DE 4000 KN EN ENTORNO RV

PLIEGO DE CONDICIONES

JUAN PALOMINO MONTIEL

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Grado en Ingeniería Mecánica

6 de julio de 2020

Índice del pliego de condiciones

1	Pliego de condiciones generales	2
2	Pliego de especificaciones técnicas.....	3
2.1	Descripción de las obras, productos, instalaciones o servicios.....	3
2.2	Especificaciones de materiales y elementos constitutivos del objeto del Proyecto	3
2.2.1	Materiales	3
2.2.2	Elementos constitutivos	4
2.3	Ejecución de obras, productos, instalaciones o servicios	5
2.4	Reglamentación y normativa aplicable	5
2.5	Aspectos de contrato referidos directamente al Proyecto y que puedan afectar a su Objeto	5
2.5.1	Aspectos de contrato a tener en cuenta durante la fase de materialización	5
2.5.2	Aspectos de contrato a tener en cuenta durante la fase de funcionamiento.	6

1 Pliego de condiciones generales

Se trata de una prensa con mecanismo de excéntrica capaz de ejecutar una fuerza nominal de 4000 kN mediante dos bielas que actúan de forma simultánea gracias a la acción del eje – cigüeñal. La prensa, de tipo try – out, está pensada para el testeo de troqueles, de manera que deben tenerse en cuenta las limitaciones que esta característica pueda suponer. El cálculo, diseño y fabricación de todos los componentes mecánicos que formarán parte de la prensa debe hacerse de siguiendo los planos, definiciones y explicaciones detalladas incluidas a lo largo de todo el proyecto. En caso de que algún componente no aparezca detallado, estos deberán ser tratados de manera externa al proyecto y ser diseñados teniendo en cuenta todos los cálculos realizados en este proyecto.

Los componentes mecánicos deben fabricarse según los procesos de fabricación que se han estimado oportunos y con materiales que cumplan las calidades mínimas exigidas en el presente documento puesto que, de no ser así, cabe la posibilidad de que ocurra algún fallo indeseado. De manera general y siempre que no se especifique lo contrario, los requisitos para los planos serán los siguientes:

- Tolerancia H7 para agujeros y tolerancia h6 para ejes.
- Tolerancias en piezas soldadas de $\pm 0,5$ mm.
- Acabados superficiales N8.

El motivo de que las tolerancias sean las especificadas es que de manera general se desea trabajar con una holgura localizada que proporcione un ajuste firme y facilite el ensamble y desensamble libre de la prensa. En los casos en los que se busque otro tipo de ajuste, se calculará y se especificará la tolerancia dimensional correspondiente. Todas las tolerancias geométricas que se consideren necesarias serán indicadas.

2 Pliego de especificaciones técnicas

2.1 Descripción de las obras, productos, instalaciones o servicios

El presente proyecto se basa en el diseño y cálculo de los componentes que forman la cadena cinemática de la prensa y los elementos estructurales que soportarán la fuerza desarrollada por la maquinaria.

El proceso seguido ha sido un prediseño de los componentes basados en geometrías habituales para componentes similares. A partir de esta base, se ha realizado un primer ensayo a partir del cual se han ido optimizando los resultados hasta llegar a una solución efectiva, eficiente y técnicamente posible. Con el diseño realizado, se han contemplado cuales son las técnicas de fabricación más factibles y rentables en términos económicos sin entrar en un gran detalle.

La maquinaria necesaria para la fabricación de los componentes será la siguiente:

- Escariador.
- Fresadora CNC de 4 ejes.
- Mandrinadora.
- Soldadora.
- Taladro.
- Torno CNC.

2.2 Especificaciones de materiales y elementos constitutivos del objeto del Proyecto

2.2.1 Materiales

Los materiales que deben utilizarse serán los siguientes:

Acero SAE 1010 CD: Se trata de un acero grado 1 completamente endurecido, tiene un módulo de elasticidad de $2,1 \cdot 10^6$ MPa y un coeficiente de Poisson de 0,3. Sus tensiones características son un límite de fluencia de 300 MPa y un límite de rotura de 370 MPa. El proceso de fabricación considerado para este material ha sido el fresado o cortado.

Acero SAE 1020 CD: Se trata de un acero grado 1 completamente endurecido, tiene un módulo de elasticidad de $2,1 \cdot 10^6$ MPa y un coeficiente de Poisson de 0,3. Sus tensiones características son un límite de fluencia de 390 MPa y un límite de rotura de 470 MPa. El proceso de fabricación considerado para este material ha sido el fresado o cortado.

Acero SAE 1030 HR: Se trata de un acero fabricado mediante laminación en caliente, tiene un módulo de elasticidad de $2,1 \cdot 10^6$ MPa y un coeficiente de Poisson de 0,3. Sus tensiones características son un límite de fluencia de 260 MPa y un límite de rotura de 470 MPa.

Acero Corten: Se trata de un acero al que no le afecta la corrosión. Es una aleación de acero con 0,5 – 1,5 % de cromo, 0,2 – 0,5 % de cobre e indicios de fósforo y níquel que se somete a un proceso conocido como humectación y secado alternativos que forman una película de óxido de color rojizo – púrpura. Admite la soldadura aplicando técnicas propias de aceros de baja aleación tales como soldadura por arco sumergido o revestido en atmósfera inerte o por arco con alma de fundente. Existen espesores estándar desde 1 hasta 90 mm. Cualquiera que sea la composición del acero, debe tener obligatoriamente un límite elástico mayor de 1100 MPa.

En caso de no poder disponer del acero corten, algún acero para herramientas como puede ser el acero 1.2083 / F3404 (X40Cr14) o el acero 1.2842 (90MnCrV8) resultan válidos. El problema

es que no suelen tener aplicaciones para chapas del espesor requerido, de manera que el uso de este acero puede suponer un sobre coste, aunque pueda resultar una solución técnica viable.

Fundición gris: material ferroso compuesto por un 2% de carbono, 1% de silicio y trazas de manganeso y azufre. Se trata de un material con buena maquinabilidad y gran resistencia al desgaste.

Polimetilmetacrilato (PMMA): material plástico que se va a utilizar fundamentalmente debido a su transparencia y sus propiedades como aislante acústico.

2.2.2 Elementos constitutivos

Bastidor o cuerpo: se ha considerado que todo el cuerpo de la prensa será de acero AISI 1020 CD o de calidad superior, siempre estirado en frío. El espesor de las chapas será de 15 mm y los perfiles estructurales serán IPE 180, perfiles algo sobredimensionados para trabajar del lado de la seguridad. Dada las propiedades del acero, se puede realizar la unión entre chapas y perfiles mediante técnicas de soldadura habituales.

Biela: se parte de un tocho de acero SAE 1020 CD con dimensiones 2000x700x300 mm³ a partir del cual se tornean las dimensiones finales con las tolerancias dimensionales y de posición especificadas.

Carro: el carro debe fabricarse con un acero de calidad AISI 1030 HR o superior si se lamina en caliente o es válido cualquier acero AISI estirado en frío. En cualquier caso, el acero debe tener un límite de fluencia igual o superior al acero AISI 1030 HR, que es el acero en el que se ha previsto la fabricación de la prensa.

Cigüeñal: se parte de un tocho de acero SAE 1020 CD $\phi 250 \times 2550$ mm³ a partir del cual se cortan mediante un torneado 3 trozos de eje a las medidas finales. Los ejes se soldarán a las pletinas correspondientes mediante técnicas de soldadura habitual dado que la soldabilidad del material es buena. Se ha considerado la rebaja de las aristas vivas mediante chaflanes de 1 mm x 45°.

Conjunto cilindro – guía: el cilindro interior se fabrica a partir de un tocho de $\phi 100$ mm para realizar los cortes cada 2800 mm y el chaflán correspondiente. Por otro lado, la guía se fabricará a partir de un tocho 20x20x1000 mm³, para el agujero que aloja el cilindro se realizará un taladrado y un mandrinado posteriormente para garantizar el correcto acople del conjunto. En ambos casos, el material utilizado será acero AISI 1020 CD.

Engranajes: se van a fabricar a partir de un tocho de acero SAE 1010 CD de $\phi 425 \times 20$ mm³ y $\phi 1225 \times 30$ mm³ para piñón y corona respectivamente. Se tornean primero las medidas exteriores de las piezas para posteriormente mecanizar con una fresadora los dientes y, por último, realizar el agujero correspondiente al eje. Se precisa una tolerancia superficial de N4 para los dientes, para evitar que pueda haber problemas con la transmisión de fuerzas a lo largo de la línea de contacto y una tolerancia de concentricidad de 5 μ m para el agujero del eje para así evitar posibles desalineamientos y vibraciones indeseables.

Freno: el disco de freno se fabricará en fundición gris a partir de un tocho que se recibirá tras haber sido sometido a un corte por láser. Una vez se recibe el tocho, se mecanizará el disco teniendo especial cuidado con el acabado las discontinuidades que tiene el disco para evacuar el calor, que se realizarán mediante un taladrado y un escariado.

Por otro lado, la pinza de freno se fabricará de PET rígido para la carcasa y material cerámico para las zapatas.

Mesa: se construirá mediante una serie de perfiles ISO 120 x 80 x 8 mm sobre los cuales se apoyará una chapa de acero de 100 mm. Todos los componentes de la mesa estarán fabricados con un acero AISI 1020 estirado en frío o, en su defecto, con un acero estructural con un límite elástico mínimo de 350 MPa. Todas las uniones rígidas necesarias se realizarán cortando los perfiles ubicados en diagonal, no cortando nunca los perfiles colocados verticalmente.

Pantallas de PMMA: tanto la pantalla frontal como la trasera se fijarán a las chapas del bastidor mediante tornillos de M10. Sobre el chaflán de las chapas del bastidor se fijará la pantalla mediante dos tornillos, para el resto de pantalla, se colocarán 10 tornillos situados de manera equidistante a ambos lados de la pantalla, quedando así fijada la pantalla a la chapa.

Volante de inercia: se fabricará a partir de una barra de 2 m de diámetro de la cual se cortará al ancho de 300 mm. Una vez cortada la pieza se mecanizará el tocho hasta dejar el diámetro final. Las zonas interiores se realizarán mediante un fresado.

2.3 Ejecución de obras, productos, instalaciones o servicios

Todos los trabajos realizados deberán ejecutarse con esmero y de acuerdo con las condiciones y procedimientos especificados a lo largo del proyecto.

La redacción del proyecto se ha realizado de manera que todos los documentos sean coherentes entre sí, en caso de encontrar algún tipo de contradicción, se debe seguir el orden que aparece recogido en la memoria en el apartado 10 *Orden de prioridad entre los documentos*. En caso de encontrar algún tipo de discrepancia entre la normativa de aplicación, siempre se aplicará la más restrictiva para trabajar siempre del lado de la seguridad. En caso de encontrar algún tipo de deficiencia en la descripción de la metodología o pasos a seguir en alguna tarea indispensable, se deben seguir las instrucciones del ingeniero jefe o persona facultativa al mando durante la ejecución de las obras.

2.4 Reglamentación y normativa aplicable

Por otro lado, la normativa tenida en cuenta a la hora de realizar el cálculo y diseño de los componentes de la prensa han sido las normas EN 692:2006+A1:2009 y UNE-EN ISO 12100:2012. De estas normas se han podido obtener distancias y relaciones geométricas habituales en el diseño, consideraciones críticas como el tipo de energía que se puede utilizar en componentes como el freno o el embrague, coeficientes de seguridad habituales, etc.

En cuanto a la seguridad de las máquinas, la normativa tenida en cuenta para documentos como por ejemplo el Plan de Prevención de Riesgos Laborales incluido en el Anexo 2 de este proyecto ha sido la norma UNE-EN ISO 16092-1:2018, equivalente a la ISO 16092-1:2017.

Por último, para la redacción formal del pliego de condiciones, se ha tomado la estructura proporcionada para este tipo de documentos por la norma UNE 157001:2014.

2.5 Aspectos de contrato referidos directamente al Proyecto y que puedan afectar a su Objeto

2.5.1 Aspectos de contrato a tener en cuenta durante la fase de materialización

Se debe prestar atención a la fase de construcción de la prensa, en especial a procesos de fabricación sensibles como puedan ser la soldadura. En caso de que existan dudas de haber

realizado satisfactoriamente las uniones o que puedan existir deficiencias en los materiales recibidos, se podrán realizar ensayos de acuerdo de los materiales de acuerdo con las normativas correspondientes.

En caso de que durante la fase de materialización no se encuentren disponibles los materiales contemplados en el presente documento, en ciertos casos se dan diversas alternativas que pueden funcionar correctamente. En cualquier caso, nunca se debe comprar un material con unas prestaciones peores, teniendo siempre en cuenta los valores del módulo de Young, el coeficiente de Poisson, el límite de fluencia y el límite de rotura. A modo de comprobación, deberá realizarse también la simulación con los nuevos materiales utilizados y las mismas hipótesis de carga para verificar que efectivamente cumple con las solicitaciones. Por supuesto, la compra de nuevos materiales nunca puede suponer un ahorro en el presupuesto, el presupuesto debe ser siempre igual o mayor en caso de que exista alguna modificación.

2.5.2 Aspectos de contrato a tener en cuenta durante la fase de funcionamiento.

Se contempla un plazo de garantía para la maquinaria de 18 meses contra todo defecto de diseño. El plazo comienza su vigencia desde la recepción provisional del producto y durante este periodo deben corregirse sin ningún tipo de coste cualquier defecto de fabricación y/o calidad de materiales. En caso de que se produzca algún fallo, se reiniciará el periodo de garantía.

No se cubren fallos debidos a un uso incorrecto de la maquinaria, siendo entendido como un uso no contemplado de la prensa. No se cubren fallos debidos a un mantenimiento deficiente. En caso de que el cliente decida realizar un mantenimiento propio, queda a bajo su propia responsabilidad.

En Logroño, a fecha 6 de julio de 2020.

Firmado:

Juan Palomino Montiel





**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

PRENSA TRY – OUT DE 4000 KN EN ENTORNO RV

MEDICIONES

JUAN PALOMINO MONTIEL

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Grado en Ingeniería Mecánica
6 de julio de 2020

Índice de mediciones

1	Mediciones.....	1
1.1	Mediciones de la cadena cinemática.....	1
1.2	Mediciones de los elementos estructurales.....	2

Presupuesto parcial nº 1 Incluye todos los componentes que forman parte de la cadena cinemática de la prensa

Nº	Ud	Descripción	Medición
----	----	-------------	----------

1 Mediciones

1.1 Mediciones de la cadena cinemática

1.1.- Componentes de la transmisión de potencia

1.1.1	Kg	Acero laminado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para ejes que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	
			Total kg: 4,000

1.1.2	Kg	Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para diversas aplicaciones, que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	
			Total kg: 4,000

1.2.- Biela del mecanismo de excéntrica

1.2.1	Kg	Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para su posterior mecanizado; i/p.p. de tornillos calibrados A4T, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	
			Total kg: 2,000

1.3.- Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabricado mediante fresado

1.3.1	Kg	Acero estirado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para vigas, pilares, zunchos y correas, mediante uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, totalmente montado y colocado.	
			Total kg: 1,000

1.4.- Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabricado mediante fresado

1.4.1	Kg	Acero estirado E 275(A 42b), en forma de tochos para estructuras especiales, i/soldaduras, nudos, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo electrolítico, y p.p. de piezas especiales y elementos de unión; totalmente montado y colocado.	
			Total kg: 1,000

1.5.- Freno de disco

1.5.1	Kg	Disco de fundición gris con un 2% de carbono, un 1% de silicio y trazas de manganeso y azufre.	
			Total kg: 1,000

1.6.- Pinza de freno

1.6.1	Ud	Pinza de freno que abarca 1/4 de disco. Diseñada con materiales cerámicos con un coeficiente de fricción de 0,65.	
			Total ud: 1,000

1.6.2	Ud	Carcasa fabricada por polietilileno tereftalato rígido (PET) que contiene las dos zapatas que ejercerán la fuerza para la acción de frenado.	
			Total ud: 1,000

1.7.- Volante de inercia

1.7.1	M2	Cilindro inicial de acero mecanizado mediante torneado	
			Total m2: 1,000

Presupuesto parcial nº 2 Incluye todos los componentes estructurales que conforman la prensa

Nº	Ud	Descripción	Medición
1.2 Mediciones de los elementos estructurales			
2.1.- Soporte formado por chapas y perfiles			
2.1.1		Chapa de acero AISI 1020 CD de dimensiones 4500x2000x15 mm ³ cortada mediante láser y unida a los perfiles mediante las técnicas de soldadura habituales.	
			Total: 2,000
2.1.2		Pantallas transparentes de polimetilmetacrilato que actúan como aislante acústico. Se trata de un elemento de seguridad que separa componentes que puedan tener peligro del ambiente y que tiene una resistencia al impacto suficiente para soportar los golpes de la prensa. Van anclados al bastidor, no son elementos estructurales.	
			Total: 2,000
2.2.- Mesa que apoya las piezas a troquelar			
2.2.1	Ud	Chapón de 100 mm	
			Total ud: 1,000
2.2.2		Soporte compuesta por 9 patas más refuerzos en forma de barras diagonales y uniones rígidas. Las patas serán perfiles normalizados tubulares rectangulares cortados según los planos y soldados mediante las técnicas habituales de soldadura.	
			Total: 1,000
2.3.- Parte móvil que monta el troquel			
2.3.1		Parte móvil formada por un tocho de acero que monta la herramienta de matrizado. La unión del carro con la biela se realiza mediante unas orejetas soldadas al carro que contienen el bulón que lo une con la biela.	
			Total: 1,000
2.3.2		Se trata de cuatro conjuntos cilindro-guía que hacen la función de corredera que fuerza al carro a seguir una trayectoria rectilínea. Cada uno de los cilindros tienen en la parte superior unos amortiguadores recambiables que reduzcan el impacto del carro contra estos cilindros.	
			Total: 4,000

En Logroño, a fecha 6 de julio de 2020.

Firmado:

Juan Palomino Montiel





**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

**PRENSA TRY – OUT
DE 4000 KN EN ENTORNO RV**

PRESUPUESTO

JUAN PALOMINO MONTIEL

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial
Grado en Ingeniería Mecánica
6 de julio de 2020

Índice del presupuesto

1	Presupuesto: conceptos básicos, mano de obra	1
2	Presupuesto: conceptos básicos, materiales	3
3	Cuadro de precios descompuestos por capítulos	5
4	Cuadro de precios nº 1 y 2 por capítulos.....	9
5	Presupuestos parciales.....	15
6	Resumen del presupuesto	18

Presupuesto: conceptos básicos, mano de obra

1 Presupuesto: conceptos básicos, mano de obra

Cuadro de mano de obra				
Nº	Designación	Importe		
		Precio (Euros)	Cantidad (Horas)	Total (Euros)
1	Oficial primera	10,710	3,520 h.	37,71
2	Oficial segunda	10,250	2,000 h.	20,50
3	Soldador	10,400	15,000 h.	156,00
4	Peón ordinario	9,000	4,000 h.	36,00
5	Jefe de producción	15,440	12,050 h.	186,04
6	Operario	8,560	104,600 h.	895,38
7	Oficial 1ª	11,380	4,100 h.	46,66
8	Becario	9,680	7,000 h.	67,76
9	Operario	8,250	5,300 h.	43,72
			Importe total:	1.489,77

--	--	--	--	--

2 Presupuesto: conceptos básicos, materiales

Cuadro de materiales				
Nº	Designación	Importe		
		Precio (Euros)	Cantidad Empleada	Total (Euros)
1	Postprocesado - Mecanizado de precisión para cumplir tolerancia superficial	50,000	1,500 ud	75,00
2	Madera pino para entibaciones	14,750	5,000 m2	73,76
3	Cerámica	20,000	0,500 kg	10,00
4	Plástico PET rígido	2,000	3,500 kg	7,00
5	Material de ensamble estructural	23,160	1,000 ud	23,16
6	Puntas para fijación de las pantallas al bastidor	1,020	0,080 kg	0,08
7	Chapas de acero	1,050	2.000,000 kg	2.100,00
8	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	1,050	8.460,000 kg	8.883,00
9	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	7,500	215,000 kg	1.612,50
10	Acero AISI 1020 CD a partir del cual se saca el carro, las orejetas en las que se coloca el bulón que une con la biela se soldarán para optimizar el material.	1,040	10.000,000 kg	10.400,00
11	Material amortiguador	12,900	4,000 ud	51,60
12	Perfiles estructurales de acero AISI 1020 CD o, en su defecto, un acero estructural S-350 o de un límite elástico superior.	25,050	14,000 m	350,70
13	Chapa de acero de 100 mm de acero AISI 1020 estirado en frío.	1,050	1.800,000 kg	1.890,00
14	Tapas colocadas al final de los perfiles en su contacto con el suelo para aumentar la superficie de contacto con el suelo.	5,650	9,000 ud	50,85
15	Transporte a obra	17,875	2,000 ud	35,76
16	Disco de fundición gris para construcción de freno	0,820	40,000 kg	32,80
17	Atmósfera para cementación	150,000	6,000 ud	900,00
18	Neutralizador de óxido	12,810	0,800 l.	10,24
19	Material para soldar los perfiles a la mesa.	6,440	1,790 kg	11,53
			Importe total:	26.517,98

Cuadro de maquinaria				
Nº	Designación	Importe		
		Precio (Euros)	Cantidad	Total (Euros)
1	Pala carg.cadenas 130 CV/1,8m3	41,800	1,000h.	41,80
2	Camión con grúa 6 t.	42,450	0,500h.	21,23
3	Motosoldad.eléctrica 7 KVA	2,810	4,000h.	11,26
			Importe total:	74,29

Cuadro de precios auxiliares

3 Cuadro de precios descompuestos por capítulos

Nº	Código	Ud	Descripción	Total
1 Incluye todos los componentes que forman parte de la cad...				
1.1 Componentes de la transmisión de potencia				
1.1.1	01-Tocho	kg	Acero laminado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para ejes que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	
	O01OB130	1,000 h.	Jefe de producción	15,440
	O01OB140	15,000 h.	Operario	8,560
	P03AL010	300,000 kg	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	1,050
	P24OU050	1,000 ud	Atmósfera para cementación	150,000
	P24WD010	0,125 kg	Electrodo	6,440
	M11M030	0,500 h.	Motosoldad.eléctrica 7 KVA	2,810
		3,000 %	Costes indirectos	611,060
Precio total por kg				629,39
Son seiscientos veintinueve Euros con treinta y nueve céntimos				
1.1.2	02-Pletinas	kg	Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para diversas aplicaciones, que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	
	O01OB130	1,000 h.	Jefe de producción	15,440
	O01OB140	1,500 h.	Operario	8,560
	P03AL010	100,000 kg	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	1,050
	P24OU070	0,200 l.	Neutralizador de óxido	12,810
	P24WD010	0,010 kg	Electrodo	6,440
	P01DW090	0,100 ud	Postprocesado - Mecanizado de precisión p...	50,000
		3,000 %	Costes indirectos	140,900
Precio total por kg				145,13
Son ciento cuarenta y cinco Euros con trece céntimos				
1.2 Biela del mecanismo de excéntrica				
1.2.1	01-Pletinas	kg	Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para su posterior mecanizado; i/p.p. de tornillos calibrados A4T, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	
	O01OB130	0,100 h.	Jefe de producción	15,440
	O01OB140	1,000 h.	Operario	8,560
	P03AL010	1.250,000 kg	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	1,050
		3,000 %	Costes indirectos	1.322,600
Precio total por kg				1.362,28
Son mil trescientos sesenta y dos Euros con veintiocho céntimos				
1.3 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamen...				
1.3.1	01-Rueda	kg	Acero estirado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para vigas, pilares, zunchos y correas, mediante uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, totalmente montado y colocado.	
	O01OB130	0,100 h.	Jefe de producción	15,440
	O01OB140	1,000 h.	Operario	8,560
	P03AT020	25,000 kg	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	7,500
	P24OU050	1,000 ud	Atmósfera para cementación	150,000
	P01DW090	0,100 ud	Postprocesado - Mecanizado de precisión p...	50,000
		3,000 %	Costes indirectos	352,600
Precio total por kg				363,18
Son trescientos sesenta y tres Euros con dieciocho céntimos				

Cuadro de Precios Descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción	Total
1.4 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamen...				
1.4.1	01-Corona	kg	Acero estirado E 275(A 42b), en forma de tochos para estructuras especiales, i/soldaduras, nudos, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo electrolítico, y p.p. de piezas especiales y elementos de unión; totalmente montado y colocado.	
	O01OB130	0,250 h.	Jefe de producción	15,440
	O01OB140	1,500 h.	Operario	8,560
	P03AT020	190,000 kg	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	7,500
	P24OU050	1,000 ud	Atmósfera para cementación	150,000
	P01DW090	1,000 ud	Postprocesado - Mecanizado de precisión p...	50,000
		3,000 %	Costes indirectos	1.641,700
			Precio total por kg	1.690,95
Son mil seiscientos noventa Euros con noventa y cinco céntimos				
1.5 Freno de disco				
1.5.1	01-Disco	kg	Disco de fundición gris con un 2% de carbono, un 1% de silicio y trazas de manganeso y azufre.	
	O01OB130	0,500 h.	Jefe de producción	15,440
	O01OB140	1,500 h.	Operario	8,560
	P13TT080	40,000 kg	Disco de fundición gris para construcción de ...	0,820
		3,000 %	Costes indirectos	53,360
			Precio total por kg	54,96
Son cincuenta y cuatro Euros con noventa y seis céntimos				
1.6 Pinza de freno				
1.6.1	01-Pinza	ud	Pinza de freno que abarca 1/4 de disco. Diseñada con materiales cerámicos con un coeficiente de fricción de 0,65.	
	O01OB150	0,100 h.	Oficial 1ª	11,380
	O01OB160	1,000 h.	Becario	9,680
	P01ES080	0,500 kg	Cerámica	20,000
	P01ES090	1,000 ud	Material de ensamble estructural	23,160
		3,000 %	Costes indirectos	43,980
			Precio total por ud	45,30
Son cuarenta y cinco Euros con treinta céntimos				
1.6.2 02-Carcasa				
	ud		Carcasa fabricada por polietilileno tereftalato rígido (PET) que contiene las dos zapatas que ejercerán la fuerza para la acción de frenado.	
	O01OB150	4,000 h.	Oficial 1ª	11,380
	O01OB160	6,000 h.	Becario	9,680
	P01ES085	3,500 kg	Plástico PET rígido	2,000
		3,000 %	Costes indirectos	110,600
			Precio total por ud	113,92
Son ciento trece Euros con noventa y dos céntimos				
1.7 Volante de inercia				
1.7.1	01-Cilindro-inicial	m2	Cilindro inicial de acero mecanizado mediante torneado	
	O01OB130	1,500 h.	Jefe de producción	15,440
	O01OB140	12,000 h.	Operario	8,560
	P03AL010	3.300,000 kg	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	1,050
	M07CG010	0,500 h.	Camión con grúa 6 t.	42,450
		3,000 %	Costes indirectos	3.612,110
			Precio total por m2	3.720,47
Son tres mil setecientos veinte Euros con cuarenta y siete céntimos				

Cuadro de Precios Descompuestos

Nº	Código	Ud	Descripción	Total
----	--------	----	-------------	-------

2 Incluye todos los componentes estructurales que conform...

2.1 Soporte formado por chapas y perfiles

2.1.1 01-Chapas

Chapa de acero AISI 1020 CD de dimensiones 4500x2000x15 mm3 cortada mediante láser y unida a los perfiles mediante las técnicas de soldadura habituales.

O01OA030	1,500 h.	Oficial primera	10,710	16,07
O01OA050	7,500 h.	Soldador	10,400	78,00
P01XG010	1.000,000 kg	Chapas de acero	1,050	1.050,00
P24WD010	0,500 kg	Electrodo	6,440	3,22
M11M030	1,000 h.	Motosoldad.eléctrica 7 KVAs	2,810	2,81
	3,000 %	Costes indirectos	1.150,100	34,50

Precio total por 1.184,60

Son mil ciento ochenta y cuatro Euros con sesenta céntimos

2.1.2 02-Recubrimiento

Pantallas transparentes de polimetilmetacrilato que actúan como aislante acústico. Se trata de un elemento de seguridad que separa componentes que puedan tener peligro del ambiente y que tiene una resistencia al impacto suficiente para soportar los golpes de la prensa. Van anclados al bastidor, no son elementos estructurales.

O01OA040	1,000 h.	Oficial segunda	10,250	10,25
O01OA070	2,000 h.	Peón ordinario	9,000	18,00
P01UC030	0,040 kg	Puntas 20x100	1,020	0,04
P01ES040	2,500 m2	Madera pino para entibaciones	14,750	36,88
M05PC020	0,500 h.	Pala carg.cadenas 130 CV/1,8m3	41,800	20,90
	3,000 %	Costes indirectos	86,070	2,58

Precio total por 88,65

Son ochenta y ocho Euros con sesenta y cinco céntimos

2.2 Mesa que apoya las piezas a troquelar

2.2.1 01-Chapa

ud

Chapón de 100 mm

O01OB130	0,500 h.	Jefe de producción	15,440	7,72
O01OB140	8,350 h.	Operario	8,560	71,48
P13CG360	1.800,000 kg	Acero estructural AISI 1020 CD	1,050	1.890,00
P13CX230	1,000 ud	Transporte a obra	17,875	17,88
	3,000 %	Costes indirectos	1.987,080	59,61

Precio total por ud 2.046,69

Son dos mil cuarenta y seis Euros con sesenta y nueve céntimos

2.2.2 02-Soporte

Soporte compuesta por 9 patas más refuerzos en forma de barras diagonales y uniones rígidas. Las patas serán perfiles normalizados tubulares rectangulares cortados según los planos y soldados mediante las técnicas habituales de soldadura.

O01OB130	1,000 h.	Jefe de producción	15,440	15,44
O01OB140	12,250 h.	Operario	8,560	104,86
P13CG230	14,000 m	Perfiles estructurales ISO 120x80x8	25,050	350,70
P13CX220	9,000 ud	Tapas extremo perfil	5,650	50,85
P13CX230	1,000 ud	Transporte a obra	17,875	17,88
	3,000 %	Costes indirectos	539,730	16,19

Precio total por 555,92

Son quinientos cincuenta y cinco Euros con noventa y dos céntimos

2.3 Parte móvil que monta el troquel

Cuadro de Precios Descompuestos

Nº	Código Ud	Descripción	Total		
2.3.1 01-Carro					
Parte móvil formada por un tocho de acero que monta la herramienta de matizado. La unión del carro con la biela se realiza mediante unas orejetas soldadas al carro que contienen el bulón que lo une con la biela.					
	O01OA030	0,120 h.	Oficial primera	10,710	1,29
	O01OB200	0,300 h.	Operario	8,250	2,48
	P24WD010	0,250 kg	Electrodo	6,440	1,61
	P05CS160	10.000,000 kg	Tocho de acero prismático	1,040	10.400,00
		3,000 %	Costes indirectos	10.405,380	312,16
Precio total por				10.717,54	
Son diez mil setecientos diecisiete Euros con cincuenta y cuatro céntimos					
2.3.2 02-Guías					
Se trata de cuatro conjuntos cilindro-guía que hacen la función de corredera que fuerza al carro a seguir una trayectoria rectilínea. Cada uno de los cilindros tienen en la parte superior unos amortiguadores recambiables que reduzcan el impacto del carro contra estos cilindros.					
	O01OA030	0,100 h.	Oficial primera	10,710	1,07
	O01OB200	1,250 h.	Operario	8,250	10,31
	P03AL010	265,000 kg	Acero SAE 1020 CD estirado en frío	1,050	278,25
	P05CW100	1,000 ud	Material amortiguador	12,900	12,90
		3,000 %	Costes indirectos	302,530	9,08
Precio total por				311,61	
Son trescientos once Euros con sesenta y un céntimos					

4 Cuadro de precios nº 1 y 2 por capítulos

Cuadro de precios nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
	1 Incluye todos los componentes que forman parte de la cadena cinemática de la prensa		
1.1.1	1.1 Componentes de la transmisión de potencia kg Acero laminado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para ejes que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	629,39	SEISCIENTOS VEINTINUEVE EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS
1.1.2	kg Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para diversas aplicaciones, que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	145,13	CIENTO CUARENTA Y CINCO EUROS CON TRECE CÉNTIMOS
1.2.1	1.2 Biela del mecanismo de excéntrica kg Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para su posterior mecanizado; i/p.p. de tornillos calibrados A4T, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.	1.362,28	MIL TRESCIENTOS SESENTA Y DOS EUROS CON VEINTIOCHO CÉNTIMOS
1.3.1	1.3 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabricado mediante fresado kg Acero estirado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para vigas, pilares, zunchos y correas, mediante uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, totalmente montado y colocado.	363,18	TRESCIENTOS SESENTA Y TRES EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS
1.4.1	1.4 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabricado mediante fresado kg Acero estirado E 275(A 42b), en forma de tochos para estructuras especiales, i/soldaduras, nudos, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo electrolítico, y p.p. de piezas especiales y elementos de unión; totalmente montado y colocado.	1.690,95	MIL SEISCIENTOS NOVENTA EUROS CON NOVENTA Y CINCO CÉNTIMOS
1.5.1	1.5 Freno de disco kg Disco de fundición gris con un 2% de carbono, un 1% de silicio y trazas de manganeso y azufre.	54,96	CINCUENTA Y CUATRO EUROS CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS
1.6.1	1.6 Pinza de freno ud Pinza de freno que abarca 1/4 de disco. Diseñada con materiales cerámicos con un coeficiente de fricción de 0,65.	45,30	CUARENTA Y CINCO EUROS CON TREINTA CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 1			
Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
1.6.2	ud Carcasa fabricada por polietilileno tereftalato rígido (PET) que contiene las dos zapatas que ejercerán la fuerza para la acción de frenado.	113,92	CIENTO TRECE EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS
1.7.1	1.7 Volante de inercia m2 Cilindro inicial de acero mecanizado mediante torneado	3.720,47	TRES MIL SETECIENTOS VEINTE EUROS CON CUARENTA Y SIETE CÉNTIMOS
	2 Incluye todos los componentes estructurales que conforman la prensa		
2.1.1	2.1 Soporte formado por chapas y perfiles Chapa de acero AISI 1020 CD de dimensiones 4500x2000x15 mm3 cortada mediante láser y unida a los perfiles mediante las técnicas de soldadura habituales.	1.184,60	MIL CIENTO OCHENTA Y CUATRO EUROS CON SESENTA CÉNTIMOS
2.1.2	Pantallas transparentes de polimetilmetacrilato que actúan como aislante acústico. Se trata de un elemento de seguridad que separa componentes que puedan tener peligro del ambiente y que tiene una resistencia al impacto suficiente para soportar los golpes de la prensa. Van anclados al bastidor, no son elementos estructurales.	88,65	OCHENTA Y OCHO EUROS CON SESENTA Y CINCO CÉNTIMOS
2.2.1	2.2 Mesa que apoya las piezas a troquelar ud Chapón de 100 mm	2.046,69	DOS MIL CUARENTA Y SEIS EUROS CON SESENTA Y NUEVE CÉNTIMOS
2.2.2	Soporte compuesta por 9 patas más refuerzos en forma de barras diagonales y uniones rígidas. Las patas serán perfiles normalizados tubulares rectangulares cortados según los planos y soldados mediante las técnicas habituales de soldadura.	555,92	QUINIENTOS CINCUENTA Y CINCO EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS
2.3.1	2.3 Parte móvil que monta el troquel Parte móvil formada por un tocho de acero que monta la herramienta de matrizado. La unión del carro con la biela se realiza mediante unas orejetas soldadas al carro que contienen el bulón que lo une con la biela.	10.717,54	DIEZ MIL SETECIENTOS DIECISIETE EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
2.3.2	Se trata de cuatro conjuntos cilindro-guía que hacen la función de corredera que fuerza al carro a seguir una trayectoria rectilínea. Cada uno de los cilindros tienen en la parte superior unos amortiguadores recambiables que reduzcan el impacto del carro contra estos cilindros.	311,61	TRESCIENTOS ONCE EUROS CON SESENTA Y UN CÉNTIMOS

Cuadro de precios nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
	1 Incluye todos los componentes que forman parte de la cadena cinemática de la prensa		
	1.1 Componentes de la transmisión de potencia		
1.1.1	kg Acero laminado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para ejes que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.		
	<i>Mano de obra</i>	143,84	
	<i>Maquinaria</i>	1,41	
	<i>Materiales</i>	465,81	
	<i>3 % Costes indirectos</i>	18,33	629,39
1.1.2	kg Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para diversas aplicaciones, que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.		
	<i>Mano de obra</i>	28,28	
	<i>Materiales</i>	112,62	
	<i>3 % Costes indirectos</i>	4,23	145,13
	1.2 Biela del mecanismo de excéntrica		
1.2.1	kg Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para su posterior mecanizado; i/p.p. de tornillos calibrados A4T, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.		
	<i>Mano de obra</i>	10,10	
	<i>Materiales</i>	1.312,50	
	<i>3 % Costes indirectos</i>	39,68	1.362,28
	1.3 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabricado mediante fresado		
1.3.1	kg Acero estirado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para vigas, pilares, zunchos y correas, mediante uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, totalmente montado y colocado.		
	<i>Mano de obra</i>	10,10	
	<i>Materiales</i>	342,50	
	<i>3 % Costes indirectos</i>	10,58	363,18
	1.4 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabricado mediante fresado		
1.4.1	kg Acero estirado E 275(A 42b), en forma de tochos para estructuras especiales, i/soldaduras, nudos, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo electrolítico, y p.p. de piezas especiales y elementos de unión; totalmente montado y colocado.		
	<i>Mano de obra</i>	16,70	
	<i>Materiales</i>	1.625,00	
	<i>3 % Costes indirectos</i>	49,25	1.690,95
	1.5 Freno de disco		
1.5.1	kg Disco de fundición gris con un 2% de carbono, un 1% de silicio y trazas de manganeso y azufre.		
	<i>Mano de obra</i>	20,56	
	<i>Materiales</i>	32,80	
	<i>3 % Costes indirectos</i>	1,60	54,96

Cuadro de precios nº 2			
Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
1.6.1	1.6 Pinza de freno ud Pinza de freno que abarca 1/4 de disco. Diseñada con materiales cerámicos con un coeficiente de fricción de 0,65. <i>Mano de obra</i> <i>Materiales</i> 3 % Costes indirectos	10,82 33,16 1,32	45,30
1.6.2	ud Carcasa fabricada por polietilileno tereftalato rígido (PET) que contiene las dos zapatas que ejercerán la fuerza para la acción de frenado. <i>Mano de obra</i> <i>Materiales</i> 3 % Costes indirectos	103,60 7,00 3,32	113,92
1.7.1	1.7 Volante de inercia m2 Cilindro inicial de acero mecanizado mediante torneado <i>Mano de obra</i> <i>Maquinaria</i> <i>Materiales</i> 3 % Costes indirectos	125,88 21,23 3.465,00 108,36	3.720,47
	2 Incluye todos los componentes estructurales que conforman la prensa		
	2.1 Soporte formado por chapas y perfiles		
2.1.1	Chapa de acero AISI 1020 CD de dimensiones 4500x2000x15 mm3 cortada mediante láser y unida a los perfiles mediante las técnicas de soldadura habituales. <i>Mano de obra</i> <i>Maquinaria</i> <i>Materiales</i> 3 % Costes indirectos	94,07 2,81 1.053,22 34,50	1.184,60
2.1.2	Pantallas transparentes de polimetilmetacrilato que actúan como aislante acústico. Se trata de un elemento de seguridad que separa componentes que puedan tener peligro del ambiente y que tiene una resistencia al impacto suficiente para soportar los golpes de la prensa. Van anclados al bastidor, no son elementos estructurales. <i>Mano de obra</i> <i>Maquinaria</i> <i>Materiales</i> 3 % Costes indirectos	28,25 20,90 36,92 2,58	88,65
	2.2 Mesa que apoya las piezas a troquelar		
2.2.1	ud Chapón de 100 mm <i>Mano de obra</i> <i>Materiales</i> 3 % Costes indirectos	79,20 1.907,88 59,61	2.046,69
2.2.2	Soporte compuesta por 9 patas más refuerzos en forma de barras diagonales y uniones rígidas. Las patas serán perfiles normalizados tubulares rectangulares cortados según los planos y soldados mediante las técnicas habituales de soldadura. <i>Mano de obra</i> <i>Materiales</i> 3 % Costes indirectos	120,30 419,43 16,19	555,92
	2.3 Parte móvil que monta el troquel		

Cuadro de precios nº2			
Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
2.3.1	<p>Parte móvil formada por un tocho de acero que monta la herramienta de matrizado. La unión del carro con la biela se realiza mediante unas orejetas soldadas al carro que contienen el bulón que lo une con la biela.</p> <p><i>Mano de obra</i></p> <p><i>Materiales</i></p> <p><i>3 % Costes indirectos</i></p>	<p>3,77</p> <p>10.401,61</p> <p>312,16</p>	10.717,54
2.3.2	<p>Se trata de cuatro conjuntos cilindro-guía que hacen la función de corredera que fuerza al carro a seguir una trayectoria rectilínea. Cada uno de los cilindros tienen en la parte superior unos amortiguadores recambiables que reduzcan el impacto del carro contra estos cilindros.</p> <p><i>Mano de obra</i></p> <p><i>Materiales</i></p> <p><i>3 % Costes indirectos</i></p>	<p>11,38</p> <p>291,15</p> <p>9,08</p>	311,61

--	--	--	--

5 Presupuestos parciales

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO PARCIAL Nº 1 Incluye todos los componentes que forman parte de la cadena cinemática de la prensa

Nº	DESCRIPCION	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1.1 Componentes de la transmisión de potencia								
1.1.1	Kg. Acero laminado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para ejes que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.					4,000	629,39	2.517,56
1.1.2	Kg. Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para diversas aplicaciones, que permite uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.					4,000	145,13	580,52
1.2 Biela del mecanismo de excéntrica								
1.2.1	Kg. Acero laminado E 275(A 42b), en pletinas estiradas en frío para su posterior mecanizado; i/p.p. de tornillos calibrados A4T, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura, totalmente montado y colocado.					2,000	1.362,28	2.724,56
1.3 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabricado mediante fresado								
1.3.1	Kg. Acero estirado E 275(A 42b), en tochos estirados en frío para vigas, pilares, zunchos y correas, mediante uniones soldadas; i/p.p. de soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo, totalmente montado y colocado.					1,000	363,18	363,18
1.4 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabricado mediante fresado								
1.4.1	Kg. Acero estirado E 275(A 42b), en forma de tochos para estructuras especiales, i/soldaduras, nudos, despuntes y dos manos de imprimación con pintura de minio de plomo electrolítico, y p.p. de piezas especiales y elementos de unión; totalmente montado y colocado.					1,000	1.690,95	1.690,95
1.5 Freno de disco								
1.5.1	Kg. Disco de fundición gris con un 2% de carbono, un 1% de silicio y trazas de manganeso y azufre.					1,000	54,96	54,96
1.6 Pinza de freno								
1.6.1	Ud. Pinza de freno que abarca 1/4 de disco. Diseñada con materiales cerámicos con un coeficiente de fricción de 0,65.					1,000	45,30	45,30
1.6.2	Ud. Carcasa fabricada por polietileno tereftalato rígido (PET) que contiene las dos zapatas que ejercerán la fuerza para la acción de frenado.					1,000	113,92	113,92
1.7 Volante de inercia								
1.7.1	M2. Cilindro inicial de acero mecanizado mediante torneado					1,000	3.720,47	3.720,47

Total presupuesto parcial nº 15 ..11.811,42

PRESUPUESTO
PRESUPUESTO PARCIAL Nº 2 Incluye todos los componentes estructurales que conforman la prensa

Nº	DESCRIPCION	UDS.	LARGO	ANCHO	ALTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
2.1 Soporte formado por chapas y perfiles								
2.1.1	. Chapa de acero AISI 1020 CD de dimensiones 4500x2000x15 mm3 cortada mediante láser y unida a los perfiles mediante las técnicas de soldadura habituales.					2,000	1.184,60	2.369,20
2.1.2	. Pantallas transparentes de polimetilmetacrilato que actúan como aislante acústico. Se trata de un elemento de seguridad que separa componentes que puedan tener peligro del ambiente y que tiene una resistencia al impacto suficiente para soportar los golpes de la prensa. Van anclados al bastidor, no son elementos estructurales.					2,000	88,65	177,30
2.2 Mesa que apoya las piezas a troquelar								
2.2.1	Ud. Chapón de 100 mm					1,000	2.046,69	2.046,69
2.2.2	. Soporte compuesta por 9 patas más refuerzos en forma de barras diagonales y uniones rígidas. Las patas serán perfiles normalizados tubulares rectangulares cortados según los planos y soldados mediante las técnicas habituales de soldadura.					1,000	555,92	555,92
2.3 Parte móvil que monta el troquel								
2.3.1	. Parte móvil formada por un tocho de acero que monta la herramienta de matrizado. La unión del carro con la biela se realiza mediante unas orejetas soldadas al carro que contienen el bulón que lo une con la biela.					1,000	10.717,54	10.717,54
2.3.2	. Se trata de cuatro conjuntos cilindro-guía que hacen la función de corredera que fuerza al carro a seguir una trayectoria rectilínea. Cada uno de los cilindros tienen en la parte superior unos amortiguadores recambiables que reduzcan el impacto del carro contra estos cilindros.					4,000	311,61	1.246,44

Total presupuesto parcial nº 16 .. 17.113,09

PRESUPUESTO

RESUMEN POR CAPITULOS

CAPITULO INCLUYE TODOS LOS COMPONENTES QUE FORMAN PARTE D...	11.811,42
CAPITULO INCLUYE TODOS LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES QUE ...	17.113,09
REDONDEO.....	
PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL.....	<u>28.924,51</u>

EL PRESUPUESTO DE EJECUCION MATERIAL ASCIENDE A LAS EXPRESADAS VEINTIOCHO MIL NOVECIENTOS VEINTICUATRO EUROS CON CINCUENTA Y UN CÉNTIMOS.

6 Resumen del presupuesto

Capítulo	Importe
Capítulo 1 Incluye todos los componentes que forman parte de la cadena cinemática de la prensa	11.811,42
Capítulo 1.1 Componentes de la transmisión de potencia	3.098,08
Capítulo 1.2 Biela del mecanismo de excéntrica	2.724,56
Capítulo 1.3 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabr...	363,18
Capítulo 1.4 Engranaje helicoidal con ranura estándar de acero grado 1 completamente endurecido fabr...	1.690,95
Capítulo 1.5 Freno de disco	54,96
Capítulo 1.6 Pinza de freno	159,22
Capítulo 1.7 Volante de inercia	3.720,47
Capítulo 2 Incluye todos los componentes estructurales que conforman la prensa	17.113,09
Capítulo 2.1 Soporte formado por chapas y perfiles	2.546,50
Capítulo 2.2 Mesa que apoya las piezas a troquelar	2.602,61
Capítulo 2.3 Parte móvil que monta el troquel	11.963,98
Presupuesto de ejecución material	28.924,51
11% de gastos generales	3.181,70
6% de beneficio industrial	1.735,47
Suma	33.841,68
21% IVA	7.106,75
Presupuesto de ejecución por contrata	40.948,43

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CUARENTA MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y OCHO EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS.

En Logroño, a fecha 6 de julio de 2020.

Firmado:

Juan Palomino Montiel

